

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

BC. ALENA PETŘÍKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Textil

Studijní obor: N3108 Produktový management

ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ODSTÍNĚNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ

SOLVING THE ISSUE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING

Bc. Alena Petříková

KHT-123

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Janíček

Rozsah práce:

Počet stran textu ...89

Počet obrázků20

Počet tabulek35

Počet grafů.....10

Počet stran příloh..6

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Alena Petříková**
Osobní číslo: **T10000127**
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**
Studijní obor: **Produktový management - Textil**
Název tématu: **Řešení problematiky odstínění elektromagnetického záření**
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte teoretické poznatky a vypracujte řešerši na téma: a) elektromagnetické záření a jeho vliv na lidský organismus, b) problematika odstínění elektromagnetického záření, c) využití technických textilií jako stínících prvků ve stavebnictví (materiály, metody), d) hodnocení účinnosti elektromagnetického stínění.
2. Realizujte experimentální studii: a) prostudujte netkané materiály vyráběné mechanickou vpichovou technologií používané jako technické textilie, např. ve stavebnictví, z hlediska jejich stínící účinnosti, b) navrhnete a realizujte vhodné stínící konstrukce na bázi těchto netkaných textilií a ověřte jejich odolnost vůči elektromagnetickému smogu.
3. Vyhodnoťte experimentální výsledky a diskutujte vhodnost použití připravených vzorků pro konkrétní aplikace.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. HAŇKA, L. Teorie elektromagnetického pole. Praha : SNTL, 1982. 578 s.
2. GEETHA, S., et al. EMI shielding: Methods and Materials - A Review. Journal of applied polymer science. 2009, 112, s. 2073-2086.
3. DUQUESNE, S.; MAGNIEZ, C.; CAMINO, G. Multifunctional Barriers for Flexible Structures. Berlin : Springer-Verlag, 2007. 302 s. ISBN 0933-033X.
4. KÖNIG, H.; ERLACHER, P. Neviditelná hrozba? : Elektromagnetická pole kolem nás. HEL, 120 s. ISBN 80-86167-15-1.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Janíček

Konzultant diplomové práce:

Ing. Veronika Šafářová

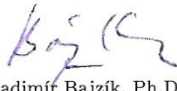
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: 31. října 2011

Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2012


prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.
děkan




Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 23.dubna 2012

.....

Bc. Alena Petříková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na vzniku mé diplomové práce. Děkuji Ing. Petru Janíčkovi za vedení práce, Ing. Martině Janíčkové za pomoc při přípravě vzorků v rámci společnosti inoTEX s.r.o. Dvůr Králové nad Labem. Dále pak samozřejmě Ing. Veronice Šafářové za ochotu při konzultacích a Ing. Martinu Truhlářovi za pomoc při měření. Nemalý dík patří celé mé rodině a příteli, kteří stáli při mně a podporovali mě hlavně psychicky.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá úpravou klasického, nevodivého textilního materiálu za účelem zvýšení jeho schopnosti efektivně odstínit elektromagnetické záření. Teoretická část seznamuje s problematikou elektromagnetického záření, diskutuje jeho zdravotní účinky na lidský organismus, způsoby měření efektivity stínění a možnosti docílení elektromagnetického stínění textilními materiály. Experimentální část je zaměřena na provedení úprav netkaných textilií za účelem zvýšit jejich efektivitu stínění pomocí různých přístupů.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektromagnetické záření, elektromagnetický smog, efektivita stínění, elektrická vodivost, netkané textilie

ANNOTATION

This thesis deals with modification of traditional non-conductive textile material in order to increase its ability to shield electromagnetic radiation. The theoretical part introduces the problem of electromagnetic radiation and its health effects on the human body, methods of measuring the effectiveness of screening and possibilities of production of electromagnetic shielding textile materials. The experimental part is focused on modification of nonwovens in order to increase their shielding effectiveness by different approaches.

KEY WORDS: electromagnetic radiation, electromagnetic smog, electromagnetic shielding effectiveness, nonwovens, electric conductivity

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
1. Úvod:	10
2. Podstata a principy EMS	11
2.1 Teorie elektromagnetického záření	11
2.1.1 Elektromagnetické pole	11
2.1.2 Elektromagnetické spektrum:	13
2.1.3 Šíření elektromagnetického záření prostředím	15
2.1.4 Aspekty působení a vzájemného ovlivňování při šíření elektromagnetických záření volným prostorem, pojmy	18
2.2 Elektromagnetické pole a zdravotní rizika.....	22
2.2.1 Energie záření a jeho účinky	22
2.2.2 SAR (Specific Absorption Rate) – specifický absorpční koeficient	25
2.2.3 Ochrana před účinky elektromagnetického záření, platná legislativa	28
2.3 Měření elektromagnetické stínící účinnosti SE.....	30
2.3.1 Měření elektromagnetické účinnosti a elektrických vlastností materiálu v rámci Technické univerzity Liberec	35
2.4 Principy eliminace působení EMS ve vztahu k použití textilních materiálů ...	38
2.4.1 Vlastnosti materiálů z hlediska jejich elektrické vodivosti	38
2.4.2 Elektricky vodivá vlákna:	41
2.4.3 Elektricky vodivé vrstvy.....	46
2.4.4 Koncepce řešení problematiky odstínění EMS pro vlastní práci	46
3. Experimentální část:	48

3.0	Popis používaných strojů a chemických prostředků	48
3.0.1	Netkané materiály JUTA a.s.....	50
3.1	Posouzení netkaných materiálů JUTA a.s. ve vztahu k SE.....	53
3.1.1	Vliv materiálového složení	53
3.1.2	Vliv konstrukce materiálu, tloušťka materiálu	57
3.2	Systémy směsi s vodivými vlákny.....	61
3.3	Systémy obsahující kovové folie	67
3.4	Systémy s povrchovou modifikací vlákenných struktur.....	71
3.4.1	Impregnační nanosové systémy	71
3.4.2	Bariérové nanosy	76
3.5	Mřížkové a sendvičové systémy	84
4	Souhrnná diskuze výsledků	93
5	Závěr.....	97
	Použitá literatura:	99
	Seznam tabulek:	102
	Seznam obrázků:	103
	Přílohy:.....	105

Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbol	Veličina	Jednotka
\vec{H}	intenzita magnetického pole	A/m
\vec{E}	intenzita elektrického pole	V/m
Λ	vlnová délka	mm
$\vec{J_0}$	proudová hustota	A/m ²
\vec{D}	elektrická indukce	C/m ²
\vec{B}	magnetická indukce	T
T	čas	s
ρ_0	hustota volných nábojů	C/m ³
Σ	elektrická vodivost	S/m
E	permitivita prostředí	F/m
M	Permeabilita prostředí	H/m
F	frekvence	Hz
SAR	Specific Absorption Rate	W/kg
P	měrná hustota	kg/m ³
P	výkonová hustota	W/m ²
R	elektrický odpor	Ω
Ps	rezistivita povrchová	Ω
Pv	rezistivita objemová	$\Omega \cdot \text{cm}$
SE	efektivita elektromagnetického stínění	%, dB
M	hmotnost	G
P	přívazek	%

1. Úvod:

Život ve 21. století je období rozvoje informačních bezdrátových technologií. Moderní doba vyžaduje využívání moderních technologií, přístup k informacím kdykoliv a kdekoliv je v dnešní době samozřejmostí. Přístroje, jako jsou mobilní telefony, notebooky, MP3 přehrávače, televizní a rádiové vysílání, bezdrátové připojení Internetu apod. jsou zdroji elektromagnetického záření. Většina těchto přijímačů a vysílačů se nachází v blízkosti lidského těla. Není to ovšem fenomén dnešní doby, i když je pravdou, že před příchodem průmyslové revoluce byly zdroje EMS omezeny pouze na přírodní elektromagnetické záření, kde světlo je jeho nejznámější formou. Každý z nás je vystaven záření, ať už umělého nebo přírodního doma, v zaměstnání i ve volné přírodě. Elektromagnetické záření však může být pro lidský organizmus škodlivé. Do jaké míry, o tom vědci diskutují, stanovují bezpečnostní limity. Hledají se vhodná řešení k eliminaci působení EMS na lidský organizmus.

Elektromagnetický smog je možno několika způsoby odstínit. Jednou z možností je využití vhodných textilních materiálů. Textilně vzato – je zapotřebí použít takový materiál, který smog odstíní nebo pohltí a zároveň si zachová své původní vlastnosti. Musí se jednat o materiál elektricky vodivý, a protože textilie jako takové jsou izolátory (s výjimkou speciálních materiálů jako je uhlík, kov apod.), je zapotřebí je upravit a zvýšit tak jejich schopnost stínit a pohlcovat EMS.

Aktuálnost a naléhavost řešení problematiky EMS, respektive eliminaci jeho působení na člověka, dokládá a podtrhuje i fakt, kdy v poslední době se stále více firem z různých oblastí průmyslového spektra zabývá vývojem materiálů s odpovídajícími vlastnosti pro tyto účely. Zadání a řešení této práce je toho důkazem, neboť bylo iniciováno a je řešeno ve spolupráci s firmou JUTA a.s. Společnost JUTA a.s. – Dvůr Králové nad Labem je velkou českou firmou vyrábějící mimo jiné netkané textilní materiály. Zároveň se jedná o významného zahraničního exportéra těchto materiálů. Její doménou jsou výrobky pro oblast stavebního průmyslu. Výše uvedená společnost projevila zájem o řešení a vývoj optimální netkané textilie eliminující působení EMS, uplatnitelné v jejím výrobním portfoliu. Tomuto požadavku je i primárně uzpůsobena celková koncepce této práce, jakož i vlastní řešení problematiky, které je tedy již cíleně orientováno na možnosti následného technologického a výrobního využití v rámci JUTA a.s.

2. Podstata a principy EMS

Podstatou celé problematiky je vznik, existence a šíření tzv. elektromagnetického záření. Toto záření pak na základě svých parametrů vytváří obecně velmi široké spektrum – elektromagnetické spektrum.

Jednou z částí tohoto spektra, velmi významnou pro život, je světlo, které je tedy podstatou přírodního elektromagnetického záření s určitými parametry.

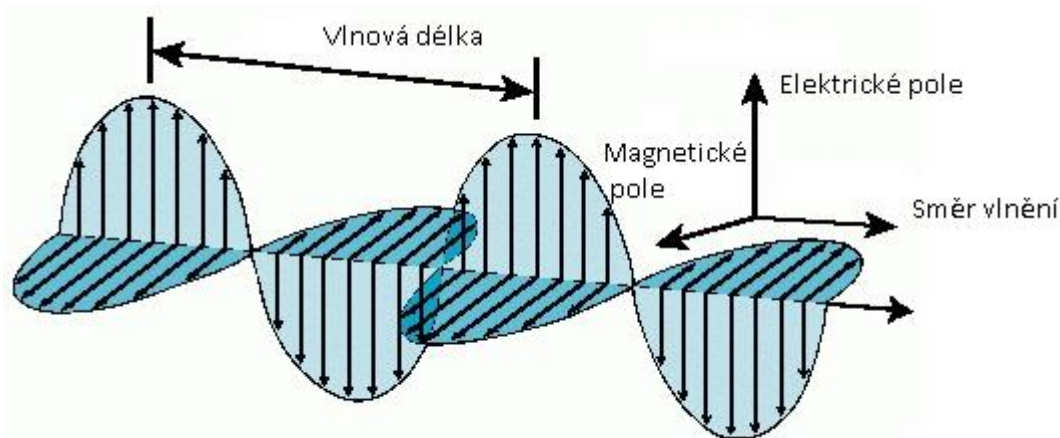
2.1 Teorie elektromagnetického záření

Ucelenou teorii o elektromagnetickém záření vypracoval James Clerk Maxwell (1831 – 1879), který shrnul vše, co tehdy bylo o elektřině a magnetismu známo a vytvořil teorii elektromagnetického pole [1].

2.1.1 Elektromagnetické pole

Elektromagnetické pole se skládá ze složky magnetické a ze složky elektrické, jež jsou na sebe kolmé a šíří se v pravých úhlech k rovině obsahující tyto dvě složky. Jeho prostřednictvím se uskutečňuje působení mezi těmito dvěma složkami. Vznik pole elektrického má za následek vznik pole magnetického a naopak [2].

Elektromagnetické pole se v prostoru šíří elektromagnetickými vlnami. Jak taková vlna vypadá, je vidět na obrázku č. 2.1, kde vlna ve směru svislém (Y) je vlna elektrická, vlna ve směru vodorovném (Z) je vlna magnetická [3].



Obrázek č. 2.1: Elektromagnetické vlnění [2]

Dle již výše zmíněného, časová změna elektrického pole budí pole magnetické a naopak. Vektory intenzity elektrického pole a magnetické indukce (veličina charakterizující účinek magnetického pole) kmitají v navzájem kolmých směrech a navzájem budí jeden druhý. Postupná elektromagnetická vlna se šíří ve směru kolmém k oběma těmto vektorům [3].

Elektromagnetické pole je charakterizováno Maxwellovými rovnicemi. Všechny děje v elektrotechnice lze obecně popsat řešením Maxwellových rovnic pro vektory elektrického pole \vec{E} a vektory magnetického pole \vec{H} . Co se vysokofrekvenčních obvodů týká, se Maxwellovy rovnice používají pro navrhování a analýzy antén. [9] Z Maxwellových rovnic je možné předpovědět existenci elektromagnetických vln. V diferenciálním stavu lze tyto rovnice zapsat takto:

První Maxwellova rovnice

$$\operatorname{rot} H = J_0 + \frac{\sigma D}{\sigma t} \quad [\text{A/m}^2; \text{A/m}^2; \text{C/m}^2\text{s}], \quad (1)$$

druhá Maxwellova rovnice:

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\sigma B}{\sigma t} \quad [\text{V/m}^2; \text{T/s}], \quad (2)$$

třetí Maxwellova rovnice:

$$\operatorname{div} D = \rho_0 \quad [\text{C/m}^3], \quad (3)$$

čtvrtá Maxwellova rovnice:

$$\operatorname{div} B = 0 \quad [\text{Wb/m}^3], \quad (4)$$

kde Hmagnetické intenzita,
 J_0 proudová hustota,
 Delektrická indukce,
 E intenzita elektrického pole,
 B magnetická indukce,
 ρ_0 hustota volných nábojů.

Indexem 0 značíme, že se jedná o tzv. volné náboje a proudy mezi jimi vytvářené [4].

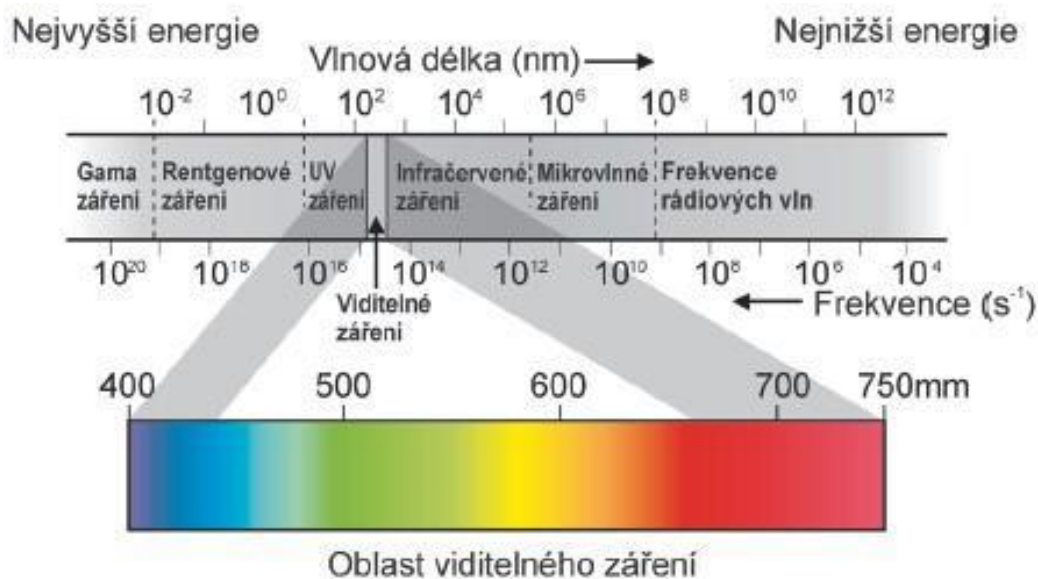
První a druhá rovnice udává vztah mezi elektrickým a magnetickým polem záření, přičemž první rovnice charakterizuje vznik magnetického pole z elektrického a druhá vznik elektrického pole z pole magnetického. *Rot* znamená vznik vírů (rotací). Rovnice třetí a čtvrtá pak popisují vlastnosti daného elektrického a magnetického pole. *Div* znamená výtok vektorů pole [4, 13].

Elektromagnetické vlny jsou zajímavé pro svůj dualistický charakter. Mají tu schopnost chovat se současně jako vlny a zároveň jako částice. U záření s delší vlnovou délkou převládá charakter vlnový, u záření s krátkou vlnovou délkou pak převládá charakter částicový. Z tohoto pohledu pak lze hovořit o tzv. vlnově částicovém dualismu vlastního elektromagnetického záření [5].

Vlnové délky elektromagnetického záření jsou v širokém rozmezí a tvoří rozsáhlé spektrum, tzv. elektromagnetické spektrum.

2.1.2 Elektromagnetické spektrum:

Elektromagnetické spektrum je škála všech možných vlnových délek ve velmi širokém rozmezí od řádu 10^{-3}nm (i kratších) až po stovky či tisíce metrů. Schematicky je celé spektrum znázorněno na obr. č. 2.2.



Obrázek č. 2.2: Elektromagnetické spektrum [6]

Jednotlivé části elektromagnetického spektra:

Gama záření – záření ionizující, jeho vlnová délka je kratší než 124pm a frekvence větší než 2,42EHz.

Rentgenové záření – záření ionizující, vlnová délka je 10nm až 100pm, frekvence 30PHz až 60EHz.

Ultrafialové záření (UV) – o vlnové délce 400 až 10nm, frekvence $10^{15} - 10^{17}$ Hz.

Viditelné světlo – s vlnovou délkou 400 až 750nm a frekvencí $3,9 \times 10^{14}$ Hz až $7,9 \times 10^{14}$ Hz. Je to část spektra, na které je lidské oko citlivé.

Infračervené záření - frekvence záření je od 300 GHz do 400THz.

Mikrovlny – vlnová délka je větší než 1mm a menší než 1m, frekvence 300 MHz až 300GHz.

Radiové vlny – o vlnové délce od 1mm po tisíce kilometrů. Dělí se na:

- extrémně dlouhé vlny s frekvencí 3 – 3000Hz,
- velmi dlouhé vlny s frekvencí 3 – 30kHz,
- dlouhé vlny s frekvencí 30 – 300kHz,

- střední vlny s frekvencí 0,3 – 3MHz,
- krátké vlny s frekvencí 3 – 30MHz,
- velmi krátké vlny s frekvencí 30 – 300MHz,
- ultra krátké vlny s frekvencí 0,3 – 3GHz,
- super krátké vlny s frekvencí 3 – 30GHz,
- extrémně krátké vlny s frekvencí 30 – 300GHz [6].

Vysokofrekvenční elektromagnetické pole

Vysokofrekvenční elektromagnetické záření začíná u 30kHz a sahá až do oblasti mikrovln 300GHz. U nízkých frekvencí se do 30kHz se elektrická a magnetická pole mohou vyskytovat nezávisle na sobě, jsou soustředěna kolem elektrických vodičů. U vyšších frekvencí zesiluje vazba elektrického a magnetického pole, proto mluvíme o elektromagnetickém poli, které není vázáno na vodič a může se volně šířit prostorem. Z toho důvodu už nemluvíme o polích, ale o vlnách. Rychlost šíření těchto vln se rovná rychlosti světla (300 000km/s). Elektromagnetické vlny přenášejí energii. Energie přenášená za časovou jednotku se nazývá intenzita záření a udává se ve wattech na metr čtverečný [W/m^2]. K tomu, abychom byli schopni elektromagnetické záření zacílit a vyzařovat, použijeme anténu. Toho jevu je využíváno k bezdrátové komunikaci (dlouhé, střední a krátké vlny) [7].

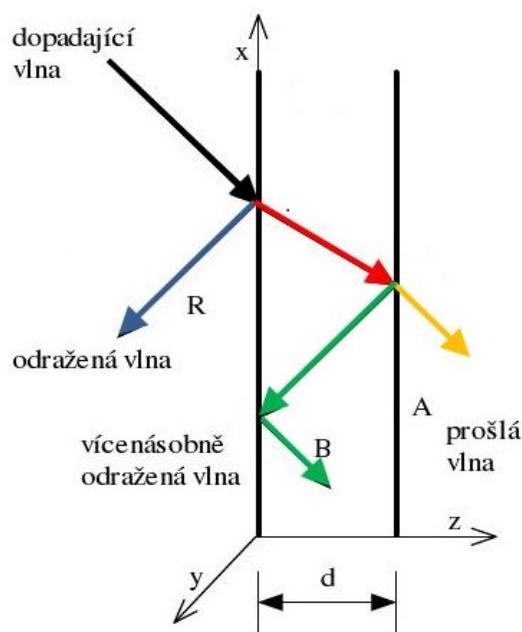
2.1.3 Šíření elektromagnetického záření prostředím

Šíření elektromagnetického záření od zdroje vzniku prostředím se děje pomocí postupného šíření (vlnění) elektromagnetického pole.

Tento proces si lze představit jako opakující se periodický proces charakterizovaný mírou počtu opakování period (vln) za časovou jednotku. Ta je udávána v tzv. hertzech (Hz, $1\text{Hz} = 1\text{km/s}$). Vlnová délka λ je dráha, kterou šířící se vlna urazí v jedné periodě. Princip děje je zachycen viz výše na obr. č. 1 [7].

Elektromagnetické vlny se šíří podle určitých pravidel závislých i na parametrech vlastního zařízení. Charakter šíření je pak ovlivňován prostředím, ve kterém k němu dochází a rovněž tak interakcemi spojenými s dopadem na překážky, které jsou ve směru šíření. Ve volném prostoru (vakuu) se šíří od zdroje po přímce. Při přechodu do nevodivého materiálu je záření pohlceno (prochází skrz) materiálem, kde dojde

k jeho lomu. Od elektricky vodivých předmětů se záření odráží. Na ostrých hranách elektricky vodivých překážek může dojít za vhodných podmínek k lomu záření [7]. Možnosti při dopadu záření na překážku jsou znázorněny na obr. č. 2.3.



Obrázek č. 2.3: Dopad vlnění na překážku [8]

Prostředí s rozlišnými aspekty šíření je možné dělit na:

- vodivé,
- volné (nás obklopující – „atmosférické“),
- dielektrické.

Elektromagnetická vlna se šíří podél vodivých (kovových) struktur

Kovovými strukturami mohou být např. 2 - drátová vedení, koaxiální vedení nebo vlnovody. **2-drátové vedení** znamená, že se elektromagnetické vlny libovolné frekvence šíří podél vodičů. Větší část výkonu je soustředěna v prostoru mezi vodiči, menší část výkonu se přenáší v širším okolí vodičů. **Koaxiální vedení** je takové vedení, kdy se elektromagnetická vlna o libovolné frekvenci šíří pouze v dielektriku mezi vnitřním a vnějším vodičem. Koaxiální vedení je často používáno pro různé typy mikrovlnných obvodů, ale s vyšším útlumem. Výhodou je přenos celého frekvenčního spektra. Ve

vlnovodu se elektromagnetická vlna šíří uvnitř trubky kruhového nebo obdélníkového průřezu. Podmínkou tohoto šíření je však vysoká frekvence (vyšší nežli určitá limitní hodnota – mezní frekvence vlnovodu). Výhodou použití vlnovodu jsou nízké ztráty přenášené elektromagnetické energie, přenos největšího výkonu, široké pásmo frekvencí, téměř žádné úniky záření při přenosu do okolí. Nevýhodou vlnovodů je nákladná výroba a tím i nevhodnost použití pro sériovou výrobu. Ideální vodič by svým vnitřkem nešířil žádný výkon. Do vnitřku reálných vodičů však v důsledku konečné vodivosti část přenášeného výkonu vstupuje a vodič zahřívá. To představuje pro přenášený výkon ztráty [9].

Výhodou těchto typů přenosových médií je velmi dobré směřování toku výkonu z jednoho konce vedení k druhému a to i včetně větvení. S tím souvisí velmi dobrá odolnost přenosového media proti vnějšímu rušení a dochází k minimálnímu rozptylu výkonu (zejména při použití koaxiálního vedení nebo vlnovodu). Velkou nevýhodou je nutná instalace kovové struktury na stožáry nebo do výkopů. Oba způsoby jsou finančně náročné, zdoluhavé a jejich přenosové vzdálenosti jsou omezeny na stovky metrů nebo jednotky kilometrů [9].

Elektromagnetická vlna se šíří volným prostředím – bezdrátové radiové systémy

Bezdrátové šíření elektromagnetické vlny znamená, že na straně vysílače je vlna vyzářena do volného prostředí a šíří se jím rychlostí světla směrem k přijímači. Strana přijímače malé množství vyzářeného výkonu zachytí přijímací anténou a ve formě vedené vlny ji převede do přijímače k dalšímu zpracování. Pro přenos dat stačí v minimální konfiguraci nasměrovat proti sobě dvě antény a zapojit příslušná zařízení. Za určitých okolností to lze realizovat levně a ve velice krátké době [9].

Radiové komunikační systémy mají i řadu omezení. Omezená je jejich přenosová kapacita ve srovnání s optickými kabely. Frekvenční šířka pásma nemůže být příliš velká, protože radiové spektrum je sdíleno mnoha telekomunikačními službami, které vzhledem k otevřenosti přenosového média nesmí navzájem rušit. Útlum radiového kanálu mezi vysílačem a přijímačem může být velký. Výkyvy přijaté přijímačem mohou být tak malé, že je přijímač není schopen správně zpracovat a radiový kanál nefunguje. Pokud bude špatně navržen radiový spoj, špatné počasí může být viníkem zhoršeného přenosu vln. Rádiové systémy se používají na vzdálenosti jednotek metrů až desí-

tek tisíc kilometrů. Problémem tedy může být dostatečné zabezpečení odolnosti proti rušení [9].

Elektromagnetická vlna se šíří podél dielektrických struktur

Zde se jako typ přenosu používá přenos využívající vlny vedené. Pod dielektrickou strukturou si můžeme představit styk dvou dielektrik s různými indexy lomu ϵ . Klasickým příkladem jsou optická vlákna, v nichž se elektromagnetická vlna s frekvencí stovek THz šíří dielektrickým jádrem s optickými vlastnostmi odlišnými od obalu jádra. Výhodou optického vlákna je jeho nízká cena a velmi nízký útlum. Kabely vyrobené z optických vláken se instalují do optických chrániček, které jsou umístěny ve výkopech. Optické kabely se využívají pro propojení na velké vzdálenosti – stovky metrů až desítky kilometrů [9].

V současné době je volné prostředí „přeplněno“ nejrůznějšími druhy elektromagnetických záření pocházející z přírodních, ale zejména pak umělých (technických) zdrojů, které se tímto způsobem šíří, vzájemně se ovlivňují (interakce) a působí na překážky, se kterými se dostávají do kontaktu. Samozřejmě, že mezi tyto překážky lze zařadit i živé organismy, lidské tělo nevyjímaje [9].

2.1.4 Aspekty působení a vzájemného ovlivňování při šíření elektromagnetických záření volným prostorem, pojmy

Na základě dříve zmíněné existence nejrůznějších druhů elektromagnetického záření v okolním prostředí a z toho vyplývajících vzájemných interakcí mezi jednotlivými zářeními jako takovými, tak i jejich působením na předměty a živé organismy, vyvstává celá řada praktických aspektů spojených se správnou funkcí přístrojů, vzájemným rušením, vlivu záření na dopadající předměty a zejména pak na živé organismy apod.

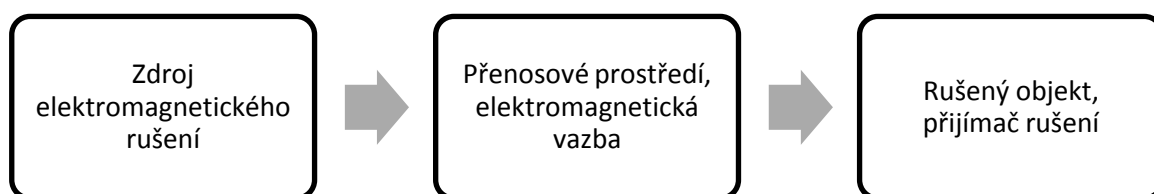
V souvislosti se vzájemným ovlivňováním a správnou funkcí přístrojů se hovoří o tzv. elektromagnetické kompatibilitě.

Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita neboli slučitelnost EMC je schopnost systémů a zařízení fungovat správně i v takovém prostředí, kde působí i jiné zdroje elektromag-

netických signálů (přirodní či umělé) a zároveň svou vlastní elektromagnetickou činností nesmí negativně ovlivňovat své okolí. Elektromagnetická kompatibilita tedy vyžaduje schopnost správné funkce zařízení nacházejících se ve společném elektromagnetickém prostředí bez závažného ovlivňování jejich normálních funkcí. Přitom každé zařízení a každý systém, či jeho část, může být současně vysílačem i přijímačem [10].

Pokud budeme EMC daného zařízení podrobněji zkoumat, vyjdeme ze základního řetězce EMC, který je uveden na obrázku č. 2.4. Tento řetězec zobrazuje systémový charakter EMC a při zkoumání se zabýváme všemi třemi složkami řetězce [10].



Obrázek č. 2.4: Základní řetězec EMC [10]

Příklady jednotlivých oblastí:

- Zdroj elektromagnetického rušení: motory, spínače, relé, energetické rozvody, polovodičové měniče, zářivky, obloukové pece, svářečky, oscilátory, počítače, číslicové systémy, elektrostatické výboje,
- přenosové prostředí, elektromagnetická vazba: vzdušný prostor, energetické kabely, napájecí vedení, zemnění, stínění, signálové vodiče, datové vodiče,
- číslicová technika, počítače, měřicí přístroje, automatizační systémy, telekomunikační systémy, systémy přenosu dat, rozhlasové systémy, televizní přijímače [10].

Oblast první je oblast zdrojů elektromagnetického rušení a zahrnuje prošetření otázek, jak ke vzniku rušení dochází, jaký je jeho charakter a intenzita. Sem můžeme zařadit přírodní zdroje rušivých signálů, jako jsou Slunce, vesmír, elektromagnetické procesy v atmosféře apod., a umělé zdroje rušení, to jsou zdroje vytvořené lidskou činností,

např. elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, elektronická zařízení, elektronické sdělovací prostředky, tepelné a světelné spotřebiče apod. [10].

Druhá oblast řetězce elektromagnetické kompatibility se soustřeďuje na elektromagnetické přenosové prostředí a vazby, tj. na způsoby a cesty, kterými se energie dostává do objektů přijímačů rušení [10].

Třetí a konečnou oblastí je problematika objektů či přijímačů rušení zaměřující se na klasifikaci typů a podrobnou specifikaci rušivých účinků. To vše na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů zařízení a z toho plynoucí jejich elektromagnetická odolnost [10].

Skutečný řetězec EMC nikdy nezahrnuje pouze působení jediného zdroje rušení a jediného přijímače, vždy řeší vzájemné vztahy více systémů a zařízení navzájem, které se všestranně ovlivňují. Obvykle je jeden systém považován za systém ovlivňující (zdroj rušení) a ostatní za systémy ovlivňované (přijímače rušení). [10]

Dalším velmi důležitým aspektem vysokého počtu elektromagnetického záření v prostředí je výše zmíněná otázka působení na živé organismy, zejména pak z pohledu dlouhodobého působení (expozice) elektromagnetických záření slabší intenzity. V současnosti se pro celosvětově stále se zvyšující úroveň elektromagnetického pozadí ujal termín elektromagnetický smog (elektrosmog EMS) [11].

Elektrosmog (EMS)

Tento termín se stal obecným pojmem, pod nímž se rozumí postupné enormní zatěžování člověka umělými zdroji elektromagnetického záření, na které nebyl po staletí zvyklý.

EMS = elektromagnetický smog – vyzařování umělého elektromagnetického pole všemi elektrickými zařízeními včetně přístrojů sloužících k přenosu informací (tzv. rádiové vlny). Jedná se o záření o různé intenzitě a kmitočtu dle zdroje záření [11].

Konkrétními zdroji EMS jsou např. mobilní telefony, rádiové a televizní přijímače, elektrické spotřebiče, WiFi připojení k Internetu, domácí a dětské chůvičky, počítače, mikrovlnné trouby, radary, GPS, trafostanice apod. [11].

Nesporně významným aspektem spojeným s výše jmenovanými, tj. vzájemným ovlivňováním a působením záření na předměty a organismy, je možno označit schopnost a možnost eliminování působení dopadajícího záření. Jednou z nejdůležitějších možností, jak toho docílit, je tzv. stínění (elektromagnetické) [11].

Elektromagnetické stínění

Stínění je tedy konstrukčním prostředkem a prvkem k zeslabení elektromagnetického pole a tedy i jeho působení a účinku ve vymezeném prostoru. V souvislosti s tímto je dále zaveden i pojem **Elektromagnetická stínicí účinnost (SE – shielding efficiency)**. Tento parametr popisuje schopnost daného materiálu omezit průchod elektromagnetického záření přes uvažovanou bariéru (překážku) viz bod 2.1.3 [3].

Faradayova klec

Pojem Faradayova klec je znám již od 19. století a jeho princip je založen na soustředění elektrického náboje pouze na povrchu vodiče. Uvnitř vodiče tedy nepůsobí žádné elektromagnetické pole. Takto stíněná komora se používá především tam, kde je zapotřebí chránit přístroje, zařízení i lidské životy před škodlivým elektromagnetickým polem, rádiovými vlnami apod. Jako příklad je uváděn automobil, kde jeho posádka je chráněna před účinky blesku (náboj i proud jsou vedeny karosérií, nikoliv těly posádky) [13, 14].

Ampérův zákon

Ampérův zákon je zákon popisující magnetické pole a jeho vztah k elektrickému proudu, kterým je vytvářené. Zákon nám říká, že na vodič s proudem působí každé magnetické pole, ať už je tvořeno trvalým magnetem nebo cívkou elektromagnetu. Dva rovnoběžné vodiče, kterými prochází proud, na sebe také navzájem působí prostřednictvím svých magnetických polí. Působí-li oběma vodiči proud stejnými směry, vodiče se navzájem přitahují. Pokud vodiči prochází proud různými směry, vodiče se vzájemně odpuzují [15].

Gaussův zákon

Gaussův zákon elektrostatiky je vyjádřením vztahu mezi tokem elektrické intenzity a elektrickým nábojem. Tento zákon je možno také vyjádřit jako tok el. intenzity jakoukoliv uzavřenou plochou, což je přímo úměrné elektrickému náboji nacházejícímu

se uvnitř této plochy. Zákon elektrostatiky se také používá pro výpočet intenzity elektrického pole v různých bodech prostoru. Pokud uvnitř plochy není uzavřeno žádné těleso elektricky nabité, pak celkový tok elektrické intenzity plochou je nulový [13,16].

2.2 Elektromagnetické pole a zdravotní rizika

Účinky elektromagnetického pole jsou v poslední době velmi diskutovaným tématem. Vědci z celého světa se tomuto tématu věnují. Výzkum se zabývá dlouhodobým působením elektromagnetického záření na člověka [17].

Dokonalé odstínění rušivých vlivů je velmi složité. Absorpce i účinky záření jsou závislé na vlastnostech biologických tkání, na kmitočtu elektromagnetického pole, zdroji vyzařování, podmínkách záření, délce trvání záření, na intenzitě elektrického či magnetického pole [17].

2.2.1 Energie záření a jeho účinky

Účinky projevující se na člověku jsou nespavost, nervozita, inkontinence a celková podrážděnost. Každý z nás však na elektromagnetické záření reaguje jinak. Je prokázáno, že existují tzv. elektrosenzibilové, na které ve velké míře účinky elektromagnetického záření silně působí. Mezi elektrosenzibily spadají často malé děti. V dětském věku je podle výzkumů vypracovaných v 90. letech ve Skandinávii časté onemocnění leukémií, což je připisováno právě negativním účinkům elektromagnetického záření větším než $0,2\mu\text{T}$. Leukémie je jednou z mnoha nemocí, kterou studie připisuje elektromagnetickému záření [17].

Vliv záření na lidský organizmus může způsobovat i zvyšující se nebezpečí vzniku rakoviny prsu nebo mozku. Jednoznačná souvislost mezi zářením a vlivem na člověka však nelze jednoznačně dokázat. Jediný způsob, jak ověřit výsledky výzkumu je dokonale odstínit jakékoliv záření, pozorovat a zaznamenávat veškeré změny zdravotního stavu daného člověka. Epidemiologická šetření se snaží zjistit dlouhodobé účinky, soustředí se obzvláště na onemocnění různými druhy rakoviny [17].

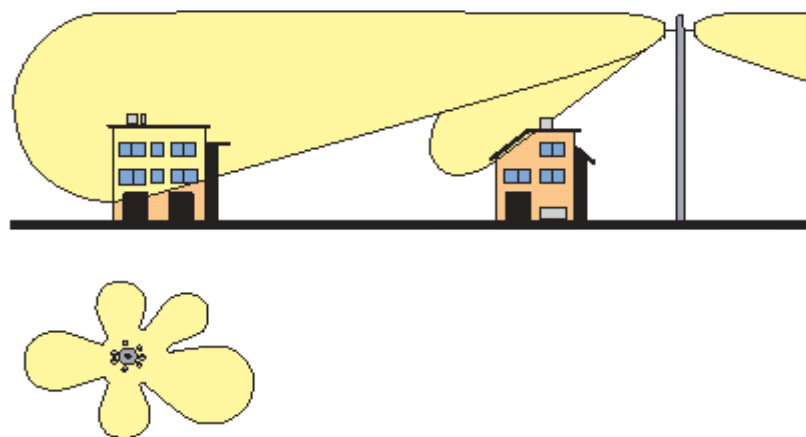
Některé studie již prokázaly jednoznačné riziko rakoviny již při velmi malých střídavých magnetických polích, která mohou vznikat v elektroinstalaci mnoha domů. Studie jsou však nadále zpochybňovány pro svůj malý statistický význam. Žádná ze studií zatím nebyla kritiky přijata. V zásadě platí, že v tak krátkém historickém období

od zavedení elektřiny neměl lidský organizmus možnost přizpůsobit se této formě záření a že nemohl vyvinout ochranné mechanismy. Zkoumání je navíc komplikováno tím, že experimenty nemohou být aplikovány na lidech [7].

Ani lékaři, ani široká veřejnost se však nechtějí spokojit pouze s tím, že jediné, co elektromagnetické záření způsobuje, je zahřívání tkání, které však nemusí z hlediska ohrožení zdraví nic znamenat. Lidé přestávají být ke svému zdraví lhostejní, požadují přísnější limity max. dávek elektromagnetického záření [7].

Jedním ze zdrojů vysokých dávek je výstavba nových mobilních vysílačů v těsné blízkosti domů a bytů. Obyvatelé žijící v blízkosti těchto vysílačů na sobě pozorují zdravotní problémy. Nejčastěji se jedná o již výše zmíněnou nespavost, podrážděnost, dále pak agresivitu a nechutenství. Někteří lidé připisují záření i vážnější nemoci jako je leukémie, rakovina, nemoci štítné žlázy, Parkinsonova choroba a jiné [17].

Na obr. č. 2.5 je znázorněno, jak takové záření od mobilního vysílače vyzařuje. Ukazuje nám, do jaké vzdálenosti záření dopadá a říká, že je často v těsné blízkosti vysílače intenzita vyzařování menší než ve vzdálenosti kolem sta metrů. Vše závisí na směrové charakteristice antén a vhodným nasměrováním tzv. laloků (jednotlivé antény vysílače). Díky těmto lalokům je nejsilnější proud záření odkloněn mimo obytnou oblast. Rovněž na půdorysovém plánu vlevo dole na obr. č. 2.5 je možno zaznamenat velké rozdíly ve vyzařování jednotlivých laloků vysílače (směrová charakteristika antén na stožáru) [17].



Obrázek č. 2.5: Vyzařování mobilního vysílače [17]

Účinky záření:

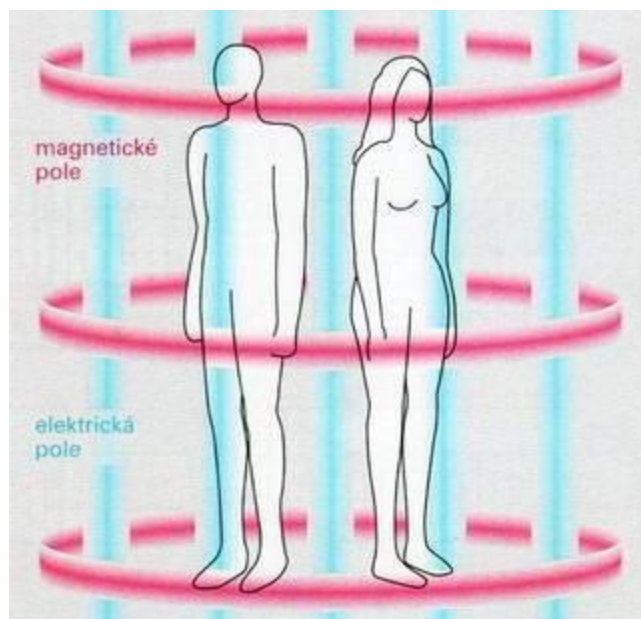
Netepelné účinky jsou skutečné účinky elektromagnetického pole a to už při velmi nízké energetické úrovni, kdy nedojde k absorpci většího výkonu a tudíž ani ke zvýšení teploty sledované biologické tkáně. Studium vlivu elektromagnetického pole na buňku – in vitro se zatím neprokázaly škodlivé účinky na enzymy, DNA, buněčnou membránu, ani na jiné části buněk. Přesto existují komplikace připisované netepelným účinkům. Patří mezi ně vliv na centrální nervový systém, srdečně cévní, krvetvorný a imunitní systém [7].

Teplené účinky jsou chápány jako projev nuceně zvýšené teploty při absorpci vyšší úrovně elektromagnetické energie, kdy již dojde k ohřevu tkáně. Ve skutečnosti mohou být tyto tepelné účinky doprovázeny i vlastními účinky elektromagnetického pole. Tepelné účinky jsou vyvolávány neionizujícím zářením [17].

Poté, co záření vnikne do těla, je jeho část absorbována a přeměněna v teplo, v organizmu dochází k zahřívání tkání obsahujících vodu. Záření má tu schopnost, že může ovlivnit změnu ve struktuře molekul. Vysoký kmitočet vysokofrekvenčního záření však člověk nevnímá, k ohřevu těla dochází zevnitř ven, receptory tepla uložené v kůži nejsou proto schopny poskytnout žádné varování. Pokud dojde k projevu tepla, k poškození již došlo bez jakýchkoli předchozích příznaků [17].

Při vysokofrekvenčním záření dochází ke změně toku iontů vápníku z mozkových buněk. Tyto ionty hrají klíčovou roli v řízení elektrických impulsů na membráně nervových buněk a zároveň při tvorbě anorganické kostní hmoty. Změny látkové výměny vápníku mohou být tedy příčinou různých poruch, např. oslabení imunitního systému, změn hladiny melatoninu a tvorby tuku. Melatonin je významný hormon ovlivňující v těle pocit času a regulující fáze spánku a bdění, dále zpomaluje růst nádorů z toho důvodu, že melatonin funguje jako antioxidant. Pod vlivem elektromagnetických polí je noční produkce hormonu oslabena, potlačena. Všechny problémy mohou být způsobeny i používáním mobilních telefonů [17].

Na obrázku č. 2.6 je znázorněno pronikání složek EMP lidským tělem. Barva růžová zobrazuje průnik magnetického pole tělem, barva modrá elektrického pole [6].



Obrázek č. 2.6: Pronikání složek elektromagnetického pole lidským tělem [6]

2.2.2 SAR (Specific Absorption Rate) – specifický absorpční koeficient

SAR je fyzikální veličina, která je v současnosti používána k popisu absorpce výkonu živou tkání exponovanou elektromagnetickému poli. Obecně představuje množství energie absorbované hmotou s definovanými vlastnostmi vztažené na jednotku hmotnosti. Prakticky se tedy jedná o množství radiofrekvenční energie, kterou lidský organizmus absorbuje při vystavení radiovému záření ve frekvenčním rozsahu 100kHz – 100GHz, např. při používání mobilního telefonu, dalšími zdroji záření o stejné frekvenci jsou také radiolokátory, klasické rádiové vysílání a scannery magnetické rezonance [18].

Jedná se o nejvyšší ověřenou hodnotu za laboratorních podmínek. Jednotkou SAR je [W/kg]. Hodnota SAR pro dané elektromagnetické pole se vypočítá dle vztahu:

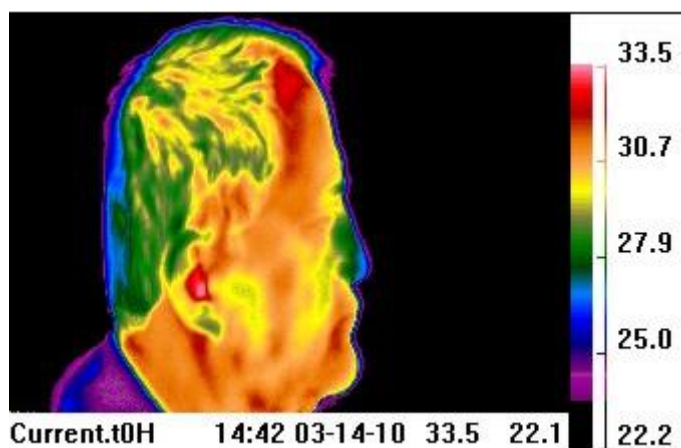
$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \text{ [W/kg]}, \quad (5)$$

kde σ je elektrická vodivost [S/m], E je efektivní hodnota intenzity elektrického pole [V/m], ρ značí hustotu [kg/m³] [18].

Hodnota SAR je závislá na několika faktorech jako např. na pozici v objektu, na jeho rozměrech, na vzdálenosti od zdroje záření a také na samotných rozměrech zdroje a jeho výkonu. Hodnocení expozice spočívá v průměrování hodnoty SAR přes celé tělo nebo jako krychlový objem (lokální SAR) o hmotnosti 1g či 10g. Pokud se jedná o hodnocení lokálního SAR, expozice je hodnocena podle nejvyšší dosažené hodnoty v celém zkoumaném objemu. Naměřené hodnoty jsou průměrovány přes časový interval o délce 6 minut [18].

Expozice elektromagnetickému poli je v České republice ve frekvenčním intervalu od 100kHz do 10GHz omezena podle vládního nařízení č. 1/2008 Sb. na hodnoty $SAR=0,08W/kg$ pro celé tělo a $SAR=2W/kg$ pro lokální. Hodnoty (limity) jsou převzaté od nezávislé expertní organizace ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Těmito limity se řídí nejen Česká republika, ale i státy EU [18].

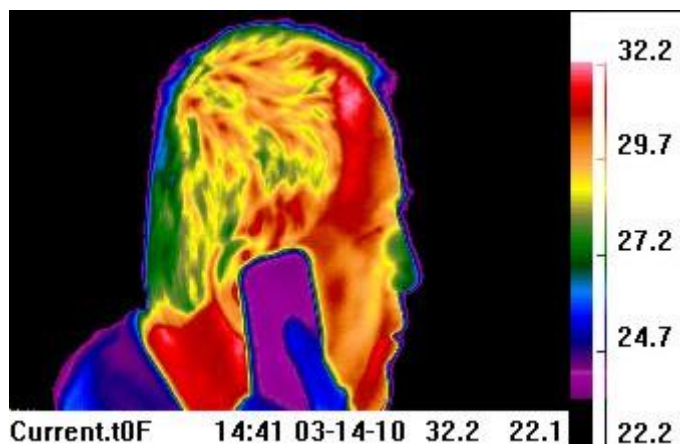
Vliv působení elektromagnetického záření na zahřívání okolních tkání při hovoru z mobilního telefonu je dokumentován např. na snímcích pořízených termokamerou při testech provedených společností Harmonia. Tyto testy byly provedeny v rámci zjišťování účinků mobilních telefonů na lidské tělo, konkrétně na hlavu a mozek. Na obrázku č. 2.7 je snímek hlavy člověka před použitím mobilního telefonu [19].



Obrázek č. 2.7: Snímek hlavy před použitím mobilního telefonu [19]

Obrázek č. 2.8 pak zobrazuje stejného člověka při hovoru s mobilním telefonem. Testování bylo prováděno během opravdového hovoru, jeho přijímání a mezi jed-

notlivými hovory. Tímto testem bylo zjištěno, že účinek vyzařování na hlavu byl stejný při samotném hovoru i po zavěšení hovoru [19].



Obrázek č. 2.8: Snímek hlavy při používání mobilního telefonu [19]

Na obrázku je vidět, jak při přijímání hovoru a samotném průběhu hovoru dochází ke zvýšení teploty v oblasti hlavy a krku [19].

Hodnota SAR není konstantní, mění se během používání mobilního telefonu, proto musí být mobilní telefony navrhovány tak, aby minimální výkon byl minimální pro připojení k síti = 2W/kg na 10g živé hmoty. Mezní hodnotu 10mW/cm^2 stanovila vláda USA. Vedlejší a kombinované účinky při stanovení této mezní hodnoty však nebyly zohledněny, jedná se o expoziční dobu, rezonanční jevy živých buněk, rozdílné účinky analogových a digitálních pulzních signálů, kombinované účinky vyvolené současným mikrovlnným zářením různých frekvencí [18].

Použití mobilního telefonu, hodnota SAR

Mobilní telefon je jedním ze zdrojů vysokofrekvenčního elektromagnetického záření. Jeho účinky na lidské zdraví nejsou jednoznačně prokázány, díky testování je však zřejmé, že dochází k zahřívání hlavy a mozku, což je jako vliv na lidské zdraví vlivem negativním. Pro eliminaci nadbytečného působení záření při používání mobilního telefonu je vhodné dodržovat některé zásady. Mezi ně lze zařadit např. omezení času stráveného telefonováním, odkládání případně vypnutí telefonu doma i v práci v době,

kdy není potřeba, používání hands free sad. Při koupi nového mobilního telefonu vzít v úvahu jeho hodnotu SAR [20].

V tabulce č. 2.1 jsou uvedeny jako příklad konkrétní hodnoty SAR pro několik mobilních telefonů, které na trhu prodává společnost Telefonica O₂ [20].

Tabulka č. 2.1: Příklady mobilních telefonů a jejich hodnota SAR [20]

Výrobce	Model	SAR - W/kg (10g)
Nokia	2330 classic	0,98
Nokia	5130 XpressMusic	1,16
Nokia	6600 fold	0,8
Nokia	6700 classic	0,41
Samsung	i900 Omnia	0,67
Samsung	S3030 Tobi	0,38
Samsung	S3110	0,42
Samsung	S3500	0,51

2.2.3 Ochrana před účinky elektromagnetického záření, platná legislativa

Aby naše životní prostředí a lidé byly ochráněni před nepříznivými vlivy, existují mezní hodnoty – limity, které jsou ovšem pro každou zemi jiné. Jsou státy, kde se o zdraví škodlivý EMS zajímají více, naopak jsou státy, které mají, obecně vzato, jiné priority.

Hygienické normy, které určují maximální intenzity elektrického pole nebo maximální hodnoty dopadajícího výkonu, jejichž účinku smí být člověk vystaven, aniž by došlo k jakémukoliv ohrožení jeho zdraví, jsou konkrétním výsledkem dosavadního výzkumu. Normy se prozatím v různých zemích od sebe odlišují, na jejich sjednocení se však intenzivně pracuje [7].

Každá země je zodpovědná za stanovení vlastních povolených úrovní působení EMS na občany dané země. Většina norem vychází z doporučení Světové zdravotnické organizace WHO (World Health Organization). Ta normy založila na základě podkladů vědeckých hodnocení, které byly provedeny ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection) [21].

Legislativa v České republice

V České republice tuto problematiku působení silných EMP upravuje Zákon o ochraně veřejného zdraví č.258/2000Sb., a nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením č.1/2008Sb., které obsahuje i nejvyšší přípustné hodnoty, a které nahradilo dříve platné vládní nařízení č. 480/2000Sb., jež se odvolává na doporučení Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením (INCIRP). Tabulka č. 1 uvádí souhrn doporučených limitů INCIRP [22].

Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000Sb. se o ochraně před neionizujícím zářením zmiňuje v díle 6. §35, kde přikazuje osobám používajícím zdroj záření, aby dodržovali určitá pravidla jako například nepřevyšovat zářením povolené limity, před zahájením činnosti pomocí doložené dokumentace obeznámit občany žijící v blízkém okolí o hodnotách záření, označit místo určené k vykonání činnosti, neprodleně zastavit zdroj při zvyšujících se hodnotách záření apod. [23].

Nařízení vlády š.1/2008Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením upravuje hygienické limity neionizujícího záření, metody a způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví při práci. Nejvyšší přípustné hodnoty expozice 0Hz – 3.1011Hz (intenzita elektrického pole, magnetického pole, magnetická indukce, hustota zářivého toku). Nejvyšší přípustné hodnoty expozice neionizujícímu záření – rozumí se statická magnetická a časově proměnná elektrická a elektromagnetická pole a zařízení s frekvencemi 0Hz – 1,7.1015Hz. Vládní nařízení se zabývá především udáváním pravidel pro zaměstnavatele a majitele firem, kde jejich zaměstnanci jsou vystaveni záření. Je důležité dodržovat nejvyšší povolená limita, přestože účinky záření nejsou klinicky dokázané [22].

Legislativa EU

Rada Evropské unie vydala v roce 1989 směrnici č.89/336/EEC s názvem „Směrnice o sblížování zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility“. Tato směrnice byla schválena a nabyla platnosti od 1.1.1996. Veškeré zboží prodávané v rámci EU musí tuto směrnici (zákon) respektovat. Nově byla tato směrnice nahrazena směrnicí rady Evropské unie č.2004/108/EC. Tato je platná ve státech EU od 20.7.2007 a udává, že každý výrobce, prodejce či distributor musí prokázat, že jeho výrobek je se ní v souladu, tzn., že splňuje mimo jiné tzv. harmonizované evropské

normy EN pro oblast EMC vydávané Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC. Tyto normy jsou sice nezávazné, ale dodržení jejich technických požadavků dává předpoklad, že příslušný výrobek či zařízení vyhovuje požadavkům Směrnice [10].

Tabulka č. 2.2: Souhrn doporučených limitů ICNIRP [24]

	Evropský průmyslový kmitočet		Frekvence základních stanic mobilních telefonů		Frekvence mikrovlnných trub
	50 Hz	50Hz	900 MHz	1,8 GHz	2,45 GHz
	elektrické pole	magnetické pole	výkonová hustota	výkonová hustota	výkonová hustota
	kV/m	μT	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Limit expozice obyvatelstva	5	100	4,5	9	10
Limit profesní expozice	10	500	22,5	45	50

Pozn. Uvedené hodnoty jsou expozice celého těla [24]

2.3 Měření elektromagnetické stínící účinnosti SE

Účinnost stínění:

Parametr popisující elektromagnetickou stínící účinnost (SE) je v podstatě schopnost určitého materiálu zamezit průchodu vysokofrekvenčního signálu přes uvažovanou bariéru. Jedná se tedy o snížení intenzity elektromagnetického pole, které je založeno na odrazech elektromagnetického vlnění a na jeho absorpci materiálem (obr. č. 2.3). Absorpcí vysokofrekvenční energie vzniká teplo, energie je tak přeměněna na energii tepelnou [3].

Principem je dopad elektromagnetické vlny na bariéru o tloušťce d , kdy část této vlny je odražena od bariéry (Reflection), část je utlumena odrazy uvnitř bariéry (Re-

reflection) a část vlny bariérou projde (Transmission). Lze to popsat pomocí následujícího vztahu:

$$SE = R + A + B \text{ [dB]}, \quad (6)$$

kde R odpovídá ztrátě při odrazu od bariéry, A ztrátě absorpcí v bariéře a B vícenásobným odrazům uvnitř bariéry [8].

Existuje několik způsobů, jak elektromagnetické stínění měřit. Nejvíce užívané je porovnávací měření, které vychází ze vztahu:

$$SE = 10 \cdot \log \cdot \frac{P_0}{P_t} = 20 \cdot \log \cdot \left| \frac{E}{E_t} \right| = 20 \cdot \log \cdot \left| \frac{H}{H_t} \right| \text{ [dB]}, \quad (7)$$

kde P_0 , E_0 a H_0 jsou výkon, intenzita elektrického a magnetického pole dopadající na stínící překážku, P_t , E_t a H_t jsou analogické hodnoty propuštěné stíněním [23].

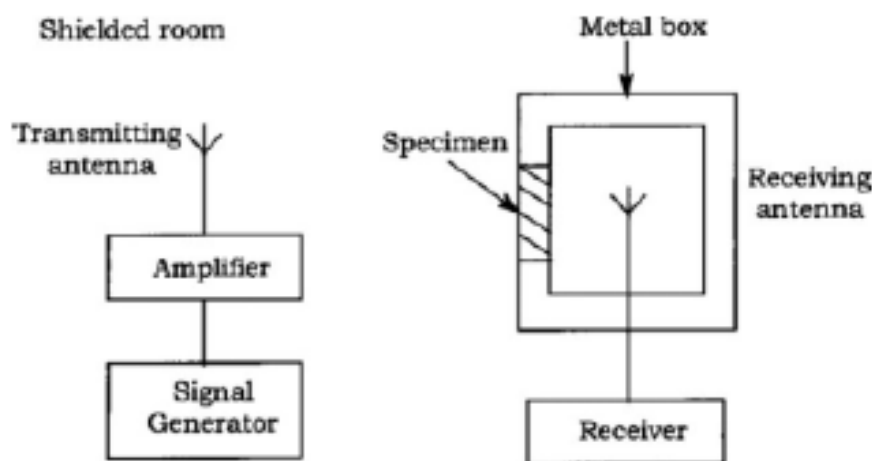
Výsledná hodnota SE udává rozdíl mezi intenzitou elektromagnetického pole, které na bariéru dopadá a intenzitou elektromagnetického pole, které bariérou projde. Ke stanovení se používají tyto metody měření efektivnosti stínění elektromagnetického záření materiálem:

- metoda stíněné schránky
- metoda stíněného prostoru,
- metoda koaxiálního přenosového vedení.

Metoda stíněné schránky je metoda často používaná pro porovnávací měření efektivnosti elektromagnetického stínění různých materiálů. Zařízení sestavené k testování se skládá z kovové schránky, která má v jedné stěně otvor pro vzorek a uvnitř schránky je přijímací anténa. Anténa vysílací je mimo schránku. Intenzita signálu, kterou přijímá anténa, je zaznamenávána bez vzorku i se vzorkem umístěným v otvoru. Na obrázku č.

2.9 je znázorněné schéma přístroje. Určitou nevýhodou této metody je obtížnost pro dosažení vhodného elektrického kontaktu mezi testovaným vzorkem a stíněnou schránkou a dále pak omezený rozsah použitých frekvencí při měření [3].

Na principu této metody je konstruováno i zařízení využívané v podmínkách Technické univerzity Liberec.

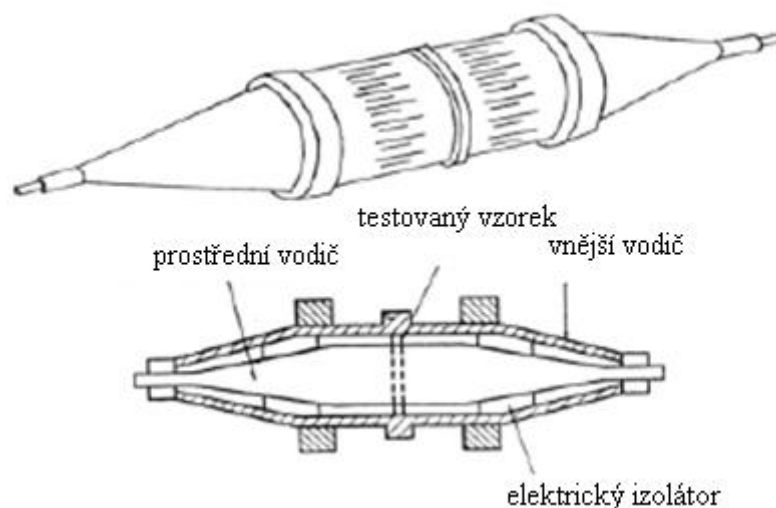


Obrázek č. 2.9: Princip měření efektivity stínění metodou stíněné schránky [3]

Metoda stíněného prostoru je nejpropracovanější metodou pro měření efektivity elektromagnetického stínění a byla vyvinuta proto, aby překonala omezení metody stíněné schránky. Princip měření je stejný jako u metody stíněné schránky, u metody stíněného prostoru je navíc každá měřicí komponenta měřicího systému (generátor signálu, vysílací anténa, přijímací anténa a záznamové zařízení) izolována v oddělených prostorech, aby se vyloučily interference. Antény jsou umístěny v prostorech bezúrazové komory a velikost testovaného vzorku je zvětšena. Při srovnávání metody stíněné schránky a stíněného prostoru je zde rozsah měřených frekvencí rozšířen a reprodukovatelnost dat je významně vylepšena [3].

Metoda koaxiálního přenosového vedení je metodou k měření elektromagnetického stínění, která překonává nevýhody uvedené u metody stíněné schránky. V současné době je to upřednostňovaná technika. Výhodou této metody jsou porovnatelné výsledky měření získané v různých laboratorních zařízeních. Další výhodou je to, že je možno touto technikou rozlišit odraženou, pohlcenou a prošlou energii. Na obrázku č. 2.10 je zobrazeno schéma testovacího zařízení. Test se provádí na malých vzor-

cích kulatého tvaru. Samotné měření je prováděno při různých frekvencích. Americkou společností pro testování a materiály byla technika koaxiálního měření přijata jako uznávaná standardizovaná metoda pro měření efektivnosti elektromagnetického stínění rovinných vzorků [3].



Obrázek č. 2.10 Princip měření efektivity stínění koaxiální metodou [3]

Jedním z hlavních parametrů materiálů odolných vůči elektromagnetickému záření je vysoká elektrická vodivost. Z dosavadních průzkumů bylo zjištěno, že existuje korelace mezi elektrickou vodivostí, resp. rezistivitou a účinností elektromagnetického stínění. Proto další z ukazatelů zvýšené odolnosti vůči elektromagnetickému záření je vodivost.

Rezistivita ρ a odpor R plošných textilií

Rezistivita ρ neboli měrný elektrický odpor je fyzikální veličina, která vyjadřuje elektrický odpor materiálu jednotkové délky (1m) jednotkového obsahu průřezu (1m^2). Rezistivita charakterizuje elektrickou vodivost materiálu.

Odpor R je fyzikální veličina a znamená vlastnost vodiče bránit průchodu elektrického proudu. Jednotkou odporu je ohm [Ω].

Čím je větší rezistivita, tím menší je vodivost daného materiálu a tím větší je elektrický odpor. Z toho vyplývá, že měřený materiál musí mít co nejmenší elektrický odpor, aby byl elektricky vodivý a aby byl tudíž schopen tlumit elektromagnetické záření. Měření odporu a rezistivity můžeme rozdělit na povrchové a objemové. Povrchové měření odporu i rezistivity znamená, že je materiál měřen pouze na svém povrchu. Objemové měření udává odpor a rezistivitu uvnitř měřeného materiálu. Pro měření povrchového odporu plošných textilií R_s se používá koncentrická elektroda odpovídající normě ČSN EN 1149-1, EN 100015, ČSN EN 61340-5-1 [24].

Povrchová rezistivita materiálu ρ_s je poměr intenzity elektrického pole a proudové hustoty uvnitř vzorku. Pro měření plošné rezistivity textilního materiálu je nutné znát hodnotu středního obvodu elektrod a jejich vzdálenost. Tyto hodnoty je možnost zadat při měření přímo do měřicího přístroje. Poté je možno odečítat hodnoty povrchové rezistivity z přístroje bez přepočtu naměřených dat. Pokud nelze data do přístroje zadat, je nutno použít pro výpočet následující vztah:

$$\rho_s = R_s \cdot \frac{o}{l} [\Omega], \quad (8)$$

kde ρ_s je povrchová rezistivita [Ω], R_s je povrchový odpor [Ω], o je střední obvod (délka elektrod) [m] a l je vzdálenost elektrod [m] [23].

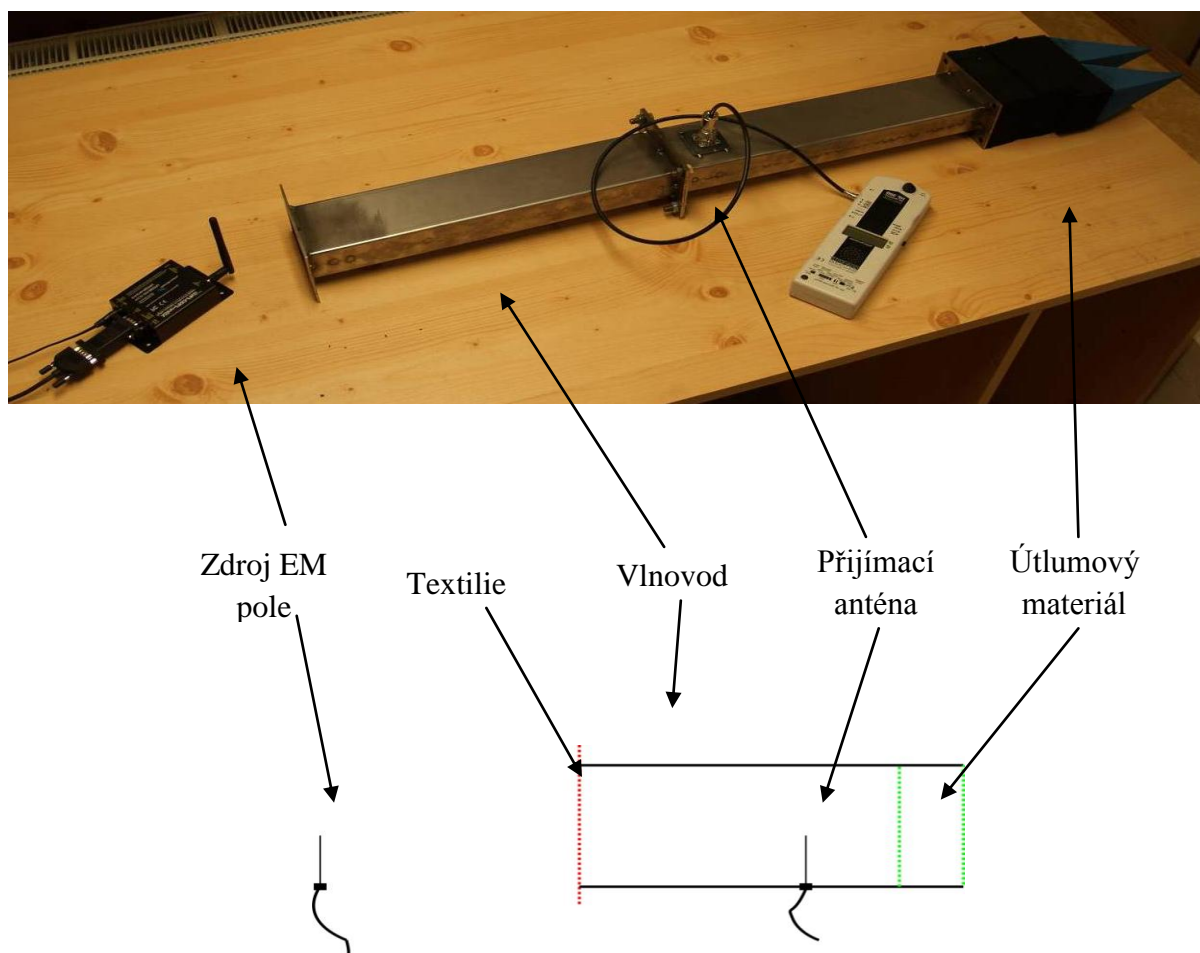
Pro měření objemové rezistivity plošných textilií je nutné znát tloušťku měřeného materiálu a plochu elektrod. Tyto hodnoty se při vlastním měření zadávají do měřicího přístroje. Naměřené hodnoty jsou v konečné podobě, není potřeba je přepočítávat. Pokud není možnost zadat údaje do přístroje, je nutné hodnotu ρ_v přepočítat podle následujícího vztahu:

$$\rho_v = R_v \cdot \frac{S}{h} [\Omega \cdot \text{cm}], \quad (9)$$

kde ρ_v je objemová rezistivita [Ωcm], R_v je povrchový odpor [Ω], h je tloušťka textilie [cm], S je plocha elektrod [cm^2] [24].

2.3.1 Měření elektromagnetické účinnosti a elektrických vlastností materiálu v rámci Technické univerzity Liberec

K měření elektromagnetické účinnosti SE na Technické univerzitě v Liberci (dále jen TUL) se provádí metodou stíněné schránky. Princip metody je popsán výše. Konkrétní přístroj používaný pro měření odstínění EMS je vidět na obrázku č. 2.10. Jedná se o vlnovod vyrobený pro pokusné měření na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, konkrétně se jedná o Ústav mechatroniky a technické informatiky (dále jen MTI), Oddělení elektrotechniky a elektroniky. Na obrázku je znázorněn vlnovod, který usměrňuje průchod vlnění, které je na konci utlumeno pěnou obsahující uhlík (útlumový materiál). Anténa je přijímačem vlnění, které vychází ze zdroje. Na obrázku pod fotografií je schematické znázornění vlastního uspořádání.



Obrázek č. 2.11: Vlnovod používaný na TUL [24]

K přenosu a měření elektromagnetické energie se používá přístroj zvaný vlnovod. Zařízení pracuje na principu odražené a prošlé vlny o určité frekvenci. Mezní frekvence $f=1,87\text{GHz}$ při frekvenci $2,45\text{GHz}$. Vlnová délka λ ve směru šíření pole je 200mm . Elektromagnetickou vlnu generuje anténa umístěna před vlnovodem. Textilie je umístěna v cestě elektromagnetického pole. Ta částečně utlumí a odrazí energii. Na konci vlnovodu je umístěn absorbent (pěna nasycena uhlíkem). Vzorek je umístěn kolmo k dopadající vlně. Celý princip měření spočívá v měření dvou hodnot. Nejprve změříme výkonovou hustotu bez vzorku, poté se vzorkem. Útlum elektromagnetického pole vypočítáme podle vztahu:

$$SE = 10 \log \cdot \frac{P_1}{P_2} [\text{dB}], \quad (10)$$

kde P_1 je výkonová hustota bez vzorku a P_2 se vzorkem. Pro výsledek v [%] je nutné použít jiný početní vztah a to:

$$SE = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 [\%]. \quad (11)$$

Výsledky měření v [dB] jsou důležité pro porovnávání výsledků jako takových. I v odborné literatuře jsou hodnoty stínění elektromagnetického záření uváděny v [dB]. Pro lepší čitelnost výsledků je možné hodnoty vypočítat i v [%]. Tato hodnota udává, kolik procent záření je bariéra (v našem případě textilní materiál) schopna pohltit nebo odrazit. Je tak procentuálně vyjádřena část záření, která bariérou neprojde [13, 24].

Měření rezistivity

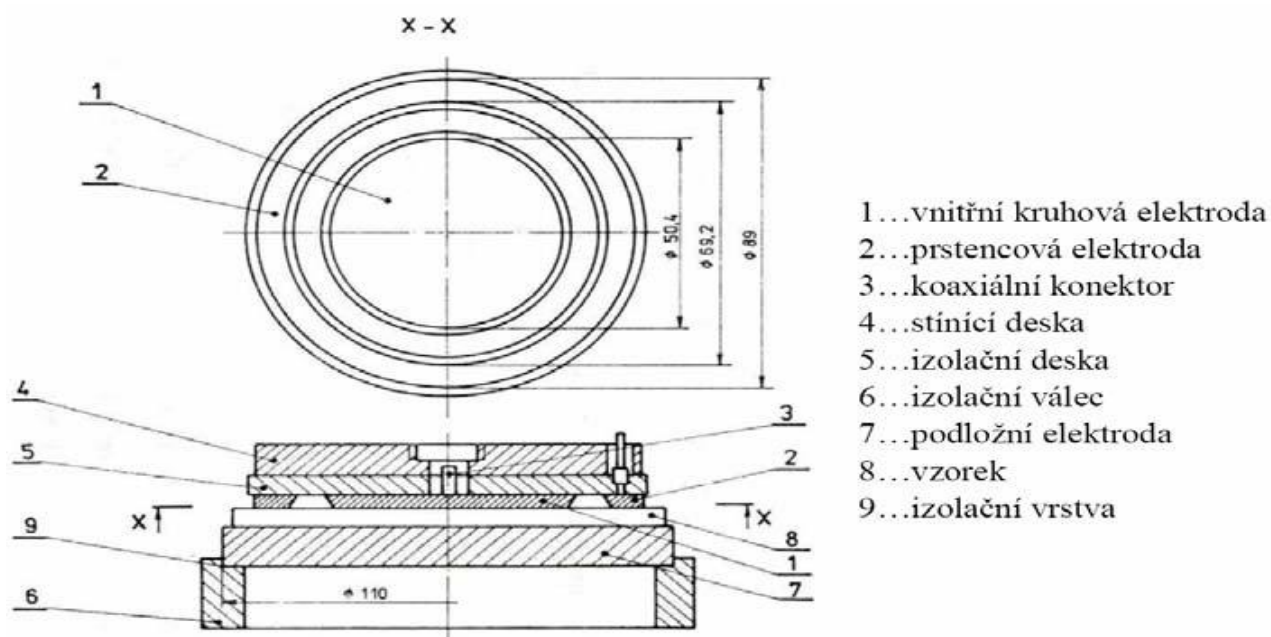
Měření odporu a rezistivity se v rámci TUL Fakulty textilní provádí na Katedře hodnocení textilií (dále jen KHT). Přístroj na měření je schematicky zobrazen na obr. č. 10. Měření se provádí na základně normy ČSN 34 1382 ($t=20\pm 2^\circ\text{C}$, relativní vlhkost vzduchu=40%) [24].

K měření povrchového odporu materiálů R_S , v našem případě konkrétně textilních materiálů, se používá koncentrické elektrody, která odpovídá normě ČSN EN 1149-1. Podložená elektroda je z jedné strany potažena 1mm silnou izolační vrstvou. Její odpor je větší než $10^{14}\Omega$ (horní mez). Izolační válec s vybráním pro uložení podložené elektrody tvoří druhou část měřicího přístroje. Přítlačná koncentrická elektroda se skládá z vnější prstencové elektrody a vnitřní kruhové elektrody, které jsou na izolační desku nalepeny. Kovová stínící deska je nalepena na druhé straně izolační desky. Vzorek se umístí na izolační vrstvu podložené elektrody, která je na válci izolační vrstvou vzhůru. Na měřený vzorek jsou položeny koncentrické elektrody, ke kterým je připojen měřicí přístroj. Tlak, který vyvolává stínící kovová deska, musí být minimálně 2kPa [24].

Měření vnitřního (objemového) odporu plošných textilií R_V se provádí tak, že se kruhová podložená elektroda položí na válec izolační vrstvou dospodu. Vzorek se položí na kovovou plochu a zatíží se koncentrickými elektrodami [24].

Objemová rezistivita materiálu ρ_V se měří mezi dvěma elektrodami přiloženými na protilehlých stranách, mezi nimiž je umístěn měřený materiál. Měříme skrz tloušťku materiálu. Jednotkou povrchové rezistivity je $[\Omega\cdot\text{cm}]$ [24].

Plošná rezistivita materiálu ρ_S je měřena na podobném principu jako rezistivita objemová, postavení elektrod je však jiné, obě elektrody se dotýkají pouze jedné strany povrchu materiálu. Jednotkou plošné rezistivity je $[\Omega]$ [24].



Obrázek č. 2.12 Schéma přístroje měřícího elektrický odpor a rezistivitu [24]

2.4 Principy eliminace působení EMS ve vztahu k použití textilních materiálů

Základní teze pro účinnou eliminaci působení EMS daným materiálem vychází v podstatě z principu popsaného v bodě 2.1, tedy z vytvoření efektivní vodivé struktury, která je schopna co nejvíce „pohltnout“ energii dopadajícího elektromagnetického záření, a tím vlastně zabránit průchodu tohoto záření danou strukturou.

2.4.1 Vlastnosti materiálů z hlediska jejich elektrické vodivosti

Materiály dělíme podle vodivosti na izolanty, polovodiče a vodiče. Na obrázku č. 2.13 je pro orientaci zobrazeno několik základních materiálů, které se běžně vyskytují v našem okolí. Jak je již známo, vodivým materiálem je kov, konkrétně např. stříbro, měď, železo. Jak je vidět na obrázku, mezi vodiče lze principiálně řadit i vodu. Vodivé látky jsou látky s minimálním elektrickým odporem. Příčinou vodivosti jsou jejich volné elektrony. Opakem vodičů jsou izolanty, kam lze například zařadit dřevo, sklo, většinu textilií a papír. Polovodiči se nazývají látky mající oproti vodičům silnější vazbu mezi jádrem a elektrony. Vznik volných elektronů je podmíněn dodáním určitého množství energie [25].



Obrázek č. 2.13.: Rozdělení materiálů podle jejich elektrické vodivosti [25]

Jak bylo zmíněno výše, textilní vlákna patří mezi izolátory, kam se řadí proto, že všechny elektrony jsou buď vázané k atomovým jádrům, nebo jsou sdílené v kovalentních vazbách. Elektrická vodivost přesto není z praktického hlediska úplně nulová. Výsledná hodnota závisí na obsahu různých přísad, resp. na obsahu vlhkosti, které výslednou vodivost zvyšují [25].

Textilie

Jedny z nejstarších materiálů, které svým charakterem můžeme tedy řadit do skupiny izolantů, a které mají pro lidstvo velký význam, jsou textilie. Zastávají funkci ochrannou, estetickou a izolační a jsou každodenní součástí našeho života. Nejen v oděvnictví se s textilem můžeme setkat, významný je i v průmyslu automobilovém, leteckém, stavebním, strojírenském, ve zdravotnictví, jako filtrační materiály, výztuhy, v elektronice apod. V mnoha případech mají nahradit dokonce plasty nebo kovy. Jejich využití je tedy velmi rozsáhlé a zejména v oblasti tzv. technických textilií bude jejich význam a objem užití i do budoucna nadále výrazně narůstat.

K tomu, aby bylo možno textilní materiály využít jako bariery pro stínění EMS, je tedy nezbytné co největší zvýšení elektrické vodivosti těchto materiálů.

Jejich obecnými přednostmi, jako vhodného materiálu pro tyto účely jsou pak zejména nízká hmotnost, možnost směsování a splývavost, obecně nízké výrobní náklady a vysoká flexibilita konstrukčního řešení vlastní textilie. Toto jsou obecně pozitivní vlastnosti, pro které lze textilie považovat za vhodný základní materiál pro využití ke

stínění EMS. Je mnoho způsobů, jak textílii upravit tak, aby se zvýšila její elektrická vodivost a tím schopnost elektromagnetického stínění.

Rozhodujícím parametrem je tedy výše zmíněná elektrická vodivost materiálu. Principem je snížení tendence k hromadění elektrostatického náboje. Elektricky vodivé textílie se používají nejčastěji jako technické textílie např. na speciální oděvy, kde jsou kovy nahrazeny textilním materiálem [25].

Textílie stínící EMS můžeme rozdělit do dvou skupin dle použití:

- Třída I. – profesionální použití: bezpečnostní obleky pro výrobce elektroniky, zdravotnické vybavení, materiály do karantény, elektronické nářadí apod.
- Třída II. – obecné použití: oděvy do kanceláře, běžné oděvy, ochranné zástěry, výrobky související s přenosem dat, těhotenské oděvy, elektronické výrobky apod.

Výsledná klasifikace efektivnosti elektromagnetického stínění je rozdělena do pěti stupňů a to tak, že stupeň 5 je nejlepší, stupeň 1 nejhorší. Viz tabulky č. 2.3 a 2.4.

Tabulka č. 2.3: Třída I – Profesionální použití [25]

Stupeň	5 Výborný	4 Velmi dobrý	3 Dobrý	2 Průměrný	1 Slabý
Rozsah efektivity elmag. stí- nění	$SE > 60\text{dB}$	$60\text{dB} \geq SE > 50\text{dB}$	$50\text{dB} \geq SE > 40\text{dB}$	$40\text{dB} \geq SE > 30\text{dB}$	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$

Tabulka č. 2.4: Třída II – Obecné použití [25].

Stupeň	5 Výborný	4 Velmi dob- rý	3 Dobrý	2 Průměrný	1 Slabý
Rozsah efektivity elmag. Stí- nění	$SE > 30\text{dB}$	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$	$20\text{dB} \geq SE > 10\text{dB}$	$10\text{dB} \geq SE > 7\text{dB}$	$7\text{dB} \geq SE > 5\text{dB}$

Zvýšení elektrické vodivosti textilního materiálu, jako základního a nezbytného předpokladu pro využití v rámci efektivního stínění EMS můžeme principiálně docílit pomocí využití elektricky vodivých vlákenných materiálů, nebo vytvořením, či vložením vhodné vodivé vrstvy (struktury) na vlastním textilním materiálu [25].

2.4.2 Elektricky vodivá vlákna:

Elektricky vodivá vlákna se získávají různými technologickými postupy z různých materiálů, přídavky nejrozličnějších aditiv i chemickými modifikacemi vlákných polymerů. Mezi základní druhy vláken vhodných k dalšímu textilnímu zpracování jsou vlákna kovová, pokovená, kompozitní polymerní, bikomponentní, uhlíková vlákna a nanovlákna a vlákna z vodivých polymerů [13, 25].

Kovová vlákna

Kovová vlákna se používají již od nepaměti k dekorativním účelům. V dnešní době se používají velmi jemná kovová vlákna při tkaní, pletení i výrobě netkaných textilií. V odvětví technických textilií jsou kovová vlákna používána právě pro svou vodivost a ohebně neměnné vlastnosti (stálosti tvarové) [25].

Vlákna kovová mohou být tvořena čistými kovy, slitinami či polokovy. Běžně používanými kovy jsou: měď, hliník, stříbro, zlato. Tyto kovy jsou dobře zpracovatelné, jsou měkké a ohebné. Kovy jako zinek, nikl, cín, železo nebo titan jsou používány pouze v závislosti na účelu jejich použití [25].

Také slitiny se používají k výrobě vláken. Ty se odlišují od čistých kovů svými vlastnostmi. Liší se barvou, leskem, odlišnou pevností a slévateľností. Mezi používané slitiny patří ocel všech forem, slitiny mědi, hliníku, železa, mosaz, bronz, slitiny titanu a chromu, nikl–titanové slitiny [25].

Obchodním příkladem kovového vlákna je např. vlákno **Bekinox**, viz obrázek č. 2.14. Vlákno je vyrobeno z nerezivějící oceli (nerezu) a je používáno při výrobě vodivých textilií. Jsou to vlákna s vysokou životností, jsou odolné v praní. Směsování těchto vláken je možné. Pokud směs vláken obsahuje 30% vláken Bekinox, může být dosaženo až 55dB ve frekvenčním rozsahu 300 – 1000 MHz. [25]



Obrázek č. 2.14 Vlákná Bekinox [26]

Vlastnosti kovových vláken

Výroba kovových vláken je značně nákladná. Použití kovových vláken však nabízí spoustu charakteristických předností, jako jsou:

- vlákna odolávající teplotám přes 1090°C, mají vysokou pevnost v tahu, vysoké prodloužení do přetrhu a vysokou ohebnost,
- jsou nehořlavá, nenasákavá, je možno je prát,
- jejich tepelná a elektrická vodivost spolu s jejich magnetickými vlastnostmi poskytují v kombinaci s polymerními vlákny nové možnosti použití,
- zaručují rozměrovou stabilitu díky nevýznamným viskózním vlastnostem,
- jsou odolné vůči chemickým účinkům,
- nevýhodou kovových vláken je jejich vysoká hustota a přílišná tuhost.

Technologickým postupem výroby vláken jsou od sebe vlákna odlišena tvarem příčného průřezu a povrchovou stálostí. Pevnost v tahu roste s klesajícím průměrem drátu. Ohebnost drátu roste. V tabulce č. 2.5 je porovnána hustota, vodivost a pevnost v tahu různých kovů [25].

Tabulka č. 2.5: Porovnání vlastností kovů [25]

	Hustota [kg/dm ³]	Vodivost [Sm/mm ²]	Pevnost v tahu [N/mm ²]
Měď	8,9	58,5	220-270
Hliník	2,7	36	120-140
Poměděný hliník (10%)	3,3	37,7	130-180
Slitina měď-nikl – CuNi1	8,9	40	220-350
Mosaz – CuZn10	8,7	25,3	340-390
Stříbro (99,9%)	10,5	62,5	170-220
Pokovená měď Cu/Ag	8,9	58,5	220-270
Nerez-ocel	7,9	1,36	740-840

Pokovená vlákna

Vlákna elektricky vodivá mohou být vyrobena metodou povrstvování vláken kovy, galvanickými materiály nebo solemi kovů. Výhodou metody povrstvování je vhodnost použití pro velké množství typů vláken a získání dobré vodivosti bez významné změny hmotnosti, omaku, flexibility. Povrstvování je možno aplikovat na povrch vláken, přízí. Adheze mezi kovem a vláknem stejně jako odolnost vůči korozi může způsobit problémy [25].

Vodivá kompozitní polymerní vlákna

Vodivá kompozitní polymerní vlákna jsou získána rozptýlením vodivých částic v termoplastické nebo termosetické nevodivé polymerní matrici. Vodivé kompozitní polymerní materiály vyžadují, aby náhodně rozdělné vodivé plnivo bylo rozptýleno v izolačním polymeru. Pokud jsou vodivé částice rozptýleny v objemu dostatečně, aby došlo k toku elektronů ve vodivé plnivo/polymerní směsi spojitá vodivá síť je v polymeru vytvořena. Částice musí být dobře rozptýlené a s vysokou koncentrací, aby byla zaručena elektrická vodivost. Na textilní aplikace se používají nižší koncentrace vodivých komponentů kvůli zachování mechanického chování vláken. Pro zvýšení vodivosti se používají uhlíkové saze [25].

Další způsob k zvýšení vodivosti se používají vlákna plněná uhlíkovými nanotubicemi. Mají jednorozměrnou strukturu, jsou velmi lehké, mají vysoký poměr šířky/délky, jsou elektricky a tepelně vodivá. Vlákná plněná kovovými částicemi jsou vytvořena nanesením vysoce vodivých kovů, jako je nikl, měď, stříbro. Polymerní vlákno zachovává všechny vlastnosti textilního vlákna a velmi tenká kovová vrstva zajišťuje elektrické vlastnosti. Nevýhodou těchto vláken je kov nanesený na povrchu vlákna. Vrstvy se od sebe mohou oddělit a tím ztratit funkci. Stále se vyvíjejí metody, jak začlenit kovový prášek do polymerní matrice, aby nedocházelo k porušování kovové vrstvy na povrchu vlákna. Vyvíjené vlákno si však musí zachovat svou vysokou vodivost. Plnění vláken nanočásticemi solí kovů je další metody zvýšení elektrické vodivosti polymerních vláken. Stejně jako kovový prášek se soli kovů míchají v roztoku polymeru [25].

Bikomponentní vlákna

Bikomponentní vlákna vznikají kombinací dvou různých komponent. Existuje spousta technologických procesů výroby bikomponentních vláken a mikrovláken. Typická oblast použití těchto vláken je nábytkářský a oděvní průmysl, dále pak medicínské aplikace a filtry. Dají se také využít jako náhrada hedvábí [25].

Bikomponentní vlákna jsou vlákna syntetická tvořena dvěma polymery různé chemické nebo fyzikální struktury, které jsou pevně a zároveň oddělitelně spojeny. Polymery jsou zvláknovány přes zvláknovací trysku. Podle tvaru trysky jsou vyráběny různá bikomponentní vlákna. Rozlišujeme tři druhy vláken: strana/strana (S/S), jádro/plášť (C/S), matrice/vlákno (M/F) [25].

Uhlíková vlákna a nanovlákna

Uhlíková vlákna jsou představiteli nové skupiny vysoko pevnostních materiálů. Uhlíkové vlákno obsahuje nejméně 90% uhlíku. Tato vlákna mají speciální vlastnosti jako pevnost, elektrická vodivost, stabilita při vystavení reaktivnímu okolí, nízká hustota, nízký až negativní koeficient tepelné roztažnosti a odolnost vůči elektrostatickému nabíjení [25].

Vlastnosti uhlíkových vláken

Vlastnosti uhlíkových vláken závisí zejména na výběru výchozího polymerního materiálu, na podmínkách karbonizace a tepelné úpravy, a také na zavedení určitých aditiv.

Vlastnosti uhlíkových vláken:

- anizotropie mechanických vlastností – ve směru kolmém k ose mají vlákna modul pružnosti výrazně menší,
- křehkost – prodloužení do přetržení je menší než u skleněných vláken,
- záporný koeficient délkové teplotní roztažnosti α ,
- v podélném směru malý elektrický odpor

Uhlíková nanovlákna mají největší využití v oblasti polovodičových zařízení, malých elektronických zařízení a nabíjecích baterií [25].

Vlákna z vodivých polymerů

Elektricky vodivé polymery jako polyanilín jsou lehké, pružné, vysoce vodivé, a proto jsou vhodné ke tkání, pletení a na další textilní výroby procesy. Ostatní vodivé materiály jako kovový drát, uhlíková a kovová umělá vlákna a grafitová vlákna nevyhovují tak jako elektricky vodivé polymery. Dalším vodivým polymerním vláken je polyacetylen, polythiopen, polypyrrol a polyfenylenvinylen. Výhodou těchto polymerů je, že je možno měnit jejich elektrické vlastnosti v širokém rozsahu např. dloužením. Závislost elektrické vodivosti na teplotě je u polymerů rozdílná než u kovů a polovodičů. Stoupá s klesající teplotou pro kovové materiály, zatímco vodivost obecně klesá se snižující se teplotou pro polovodiče a izolátory [25].

Technologické postupy výroby vodivých vláken:

- 1) Použití nekonečných či staplových vláken z elektricky vodivého materiálu (kovová vlákna, uhlíková vlákna, ...),
- 2) plnění tradičních vláken vodivými částicemi ve formě aditiv (uhlíkové a kovové částice, elektricky vodivé polymery),
- 3) povrstvování klasických vláken vodivými polymery či kovy,
- 4) příprava polymerů, jejichž chemická struktura zajišťuje zvýšenou elektrickou vodivost,
- 5) elektricky vodivá bikomponentní vlákna [25].

2.4.3 Elektricky vodivé vrstvy

Princip elektricky vodivé vrstvy spočívá ve vytvoření na textilním materiálu z klasických textilních vláken (tedy velmi málo elektricky vodivých) vrstvy (struktury) s dobrou elektrickou vodivostí a tím zabezpečit odpovídající elektrickou vodivost celého materiálu.

I zde podobně jako u výroby kovových vláken je možno elektricky vodivé vrstvy vytvářet z kovových materiálů, přísadou různých aditiv, směsí speciálních modifikovaných polymerů, nánosem nebo spojením se základním textilním materiálem [24].

Technologické možnosti pro vytváření takových systémů jsou v současnosti velmi rozsáhlé a umožňují tvorbu různých vrstev a spojení materiálů (tzv. laminace). Např. lze zmínit technologie:

- nánosování (např. stěrkou – coating)
- máčení (impregnace)
- spojování (laminace, např. slepování)

Tyto technologie jsou zároveň již zmíněny i právě kvůli potencionální využitelnosti v rámci řešení pro JUTA a.s.

2.4.4 Koncepce řešení problematiky odstínění EMS pro vlastní práci

Závěry z provedené rešerše naznačují základní principy a možnosti pro řešení vlastní problematiky, to je tvorby netkaného textilního materiálu s optimální stínící účinností pro odstínění EMS.

Zároveň je třeba tyto závěry zohlednit a přizpůsobit do podmínek zadavatele, to znamená firmy JUTA a.s. tak, aby byly využitelné pro jejich vyráběné materiály a technologické možnosti, kterými tato firma disponuje. Toto je z praktického hlediska velmi důležité a v některých případech i limitující, protože v řadě případů i teoreticky slibné řešení bez absence návaznosti na praktickou využitelnost a celkovou ekonomickou efektivitu ve výrobních podmínkách JUTA a.s., by nebylo zadavatelem akceptováno.

Na základě výše zmíněného bude tedy snaha o praktické řešení dané problematiky směřována do následujících oblastí:

Principy řešení:

- vodivá vlákna (výběr, směsování, konstrukce),
- vodivé vrstvy (výběr vhodných substancí, adhesivní systémy pro fixaci) aplikované nanosovými technologiemi dostupnými v JUTA a.s,
- tvorba laminátních systémů, vodivá vrstva - textilní materiál, pomocí technologických postupů využitelných v JUTA a.s.

3. Experimentální část:

3.0 Popis používaných strojů a chemických prostředků

Při vlastní praktické činnosti byla použita řada chemických prostředků. Pro přehlednost jsou všechny uvedeny v tabulce č. 3.1, včetně jejich výrobce a základní materiálové charakteristiky.

Chemické prostředky:

Tabulka č. 3.1: Chemické prostředky

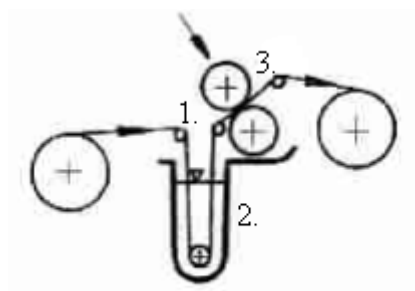
název	výrobce	charakteristika
Koloid srebra neionogenní	NANO - TECH	koloidní roztok s obsahem nanostříbra v roztok = 50mg/kg
Colloidal copper neionogenní	NANO - TECH	koloidní roztok s obsahem nanomědi v roztoku = 50mg/kg
Silpure FBR 5	TRA Canada	roztok s obsahem nanostříbra vázaném v polymeru= 120g/l
THOMSIT R 762	Henkel	roztok s obsahem grafitu, disperze syntetické pryskyřice na bázi polyakrylátu s vodivými vlastnosti
PLEXTOL DV 370	Synthomer	vodní emulze k zesítní akrylových polymerů (upevnění suspenze na materiál)
LUTEXAL THICKENER HIT PLUS	BASF	syntetické zahušťovadlo pro textilní tisk
Fe Si 14 16	PK Chemie	železný prášek s vyšším obsahem křemíku, obsah Si 14 - 16%, Fe 82 - 84%
CuTEC 50	PK Chemie	jemný prášek červené barvy vyráběný z čisté mědi, obsah Cu 98%
COND 5 995	GRAPHITE TÝN	mikromletý přírodní grafit, přísadka do umělých hmot a mazacích past
AQUAPOR 42 13	SCHLENK	hliníková pasta určená pro pigmentaci a chemické reakce
AQUAMET WPO/3200/65	SCHLENK	hliníková pasta určená pro pigmentaci a chemické reakce

Dále byly používány stroje a zařízení, jejichž seznam včetně základní specifikace je uveden níže.

Použité stroje:

Laboratorní fulár Werner Mathis AG, typ HF – stroj pro vzorování impregnačních technologií. Max. šířka vzorku: 350mm, přítlak ručně nastavitelný v rozsahu 0-100%.

Princip: Textilie prochází mezi dvěma horizontálními gumovými válci, nad kterými se nachází vlastní impregnační lázeň. Požadovaný přítlak válců se nastaví na vyznačené stupnici mechanicky pomocí ovládací tyče. Obecné schéma je na obrázku č. 3.1.



- 1. – textilie
- 2. – vana
- 3. – odždímací válce

Obrázek č. 3.1 :Impregnační technologie. Schéma fuláru [31]

Laboratorní sušící a fixační rám Werner Mathis AG, typ LTE – stroj pro diskontinuální sušení textilií s obsahem různých látek, nanesených z vodného prostředí a jejich tepelné fixaci na tomto materiálu. Maximální velikost vzorku: 350x450mm, režim nastavení teplot do 210°C, doba sušení 1s – 99min.

Princip: Zkušební vzorek upravené textilie se připevní na speciální kovový rámeček s lištami opatřenými jehlami. Tento se pak upevní do vstupní konzole a vsune do vlastní sušící komory opatřené elektrickým ventilátorem. Zde je vzorek nastaveným režimem usušen. Po ukončení dojde k automatickému vysunutí vzorku.

Jehlovací stroj Hansa (vpichovací stroj) – Stroj na zpevnění vlákněho rouna pomocí ostnatých jehel. Otáčky stroje 0,32ot/min, hloubka vpichu 10mm, zdvih 350/min.

Princip: Podstatou vpichování je provázání vlákně vrstvy vláknů z vrstvy pomocí speciálních vpichovacích ostnatých jehel, které jsou umístěny v kmitající desce. Vlákně rouno je stroji předkládáno z mykacího stroje.

Mykací stroj Befama 50 – stroj na rozvláknění předkládaného vlákenného materiálu (vločky), výroba co nejstejnomořnější pavučiny.

Princip: Předkládaný vlákenný materiál prochází soustavou ozubených válců, kdy dochází k rozvláknění, čištění, napřimování, ojednocování, urovnávání vláken do podélného směru. Vzniká vlákenná pavučina (rouno).

Rastrovací mikroskop TESCAN VEGA II XMU vybavený energiově-disperzním detektorem BRUKER Quantax XFlash 400 pro lokální chemickou mikroanalýzu.

Přístroj k měření elektrického odporu a rezistivity viz bod 2.3.1.

Vlnovod k měření efektivity stínění EMS, viz bod 2.3.1. obrázek 2.11.

3.0.1 Netkané materiály JUTA a.s.

Technologie výroby:

Netkané materiály z výrobního portfolia JUTA a.s., které byly vytypovány a následně hodnoceny jako základní vstupní materiály pro potencionální využití v rámci vývoje optimálního materiálu s odstíněním EMS spadají do dvou základních skupin.

Největší skupinu výrobků tvoří netkané textilie vyráběné technologií mechanického proplétání (vpichování) střižních vláken na k tomu určených strojích. Tyto materiály, označované jako vpichové netkané textilie, se vyrábějí v JUTA a.s. v hmotnostech cca 100 – 1000 g/m². Nacházejí široké uplatnění, zejména pak v oblasti stavitelství jako tzv. geotextilie.

Druhou skupinou jsou pak objemové materiály vyráběné technologií air – laid. Propojení jednotlivých vláken a zpevnění celé struktury textilie je zde zajištěno tepelným procesem pomocí pojivých vláken (tzv. bikomponentních vláken), které jsou přítomny ve směsi s klasickými vlákny v konstrukci. Po zahřátí na potřebnou teplotu a mírným stlačením celé vrstvy dojde k propojení (slepení) jednotlivých vláken a vytvoření i výsledné struktury s definovanou objemovou hustotou materiálu (kg/m³) a jeho vlastní tloušťkou cca 2 – 12cm. Takto vyráběné materiály nacházejí uplatnění zejména jako tepelně izolační materiály.

Materiálové složení:

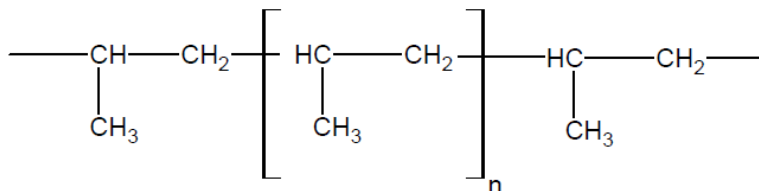
V rámci výrob netkaných materiálů JUTA a.s. využívá hlavně 3. základních materiálů ve formě staplových vláken s různými parametry (tloušťka vláken, průměrná délka apod.)

Jedná se o:

- **Polypropylenová vlákna**

Polypropylen (PP) je synteticky vyráběný polymer, který se získává polymerací propylenu za účasti speciálních katalyzátorů v prostředí rozpouštědla hexanu pod tlakem 0,7 – 1MPa a při teplotách cca 50 – 70°C. Pro regulaci molekulové hmotnosti výsledného polymeru slouží variabilní přídavek vodíku (H₂). Z vyrobeného polymeru pak v následném procesu zvláknování dochází k tvorbě vláken, které jsou výchozí surovinou pro výrobu dalších struktur, např. vpichových netkaných textilií [27].

Vláknenné materiály na bázi PP mají výrazně nepolární charakter (hydrofobní povrch). Maximální teplota pro využití polypropylenových materiálů nesmí překročit 120°C.



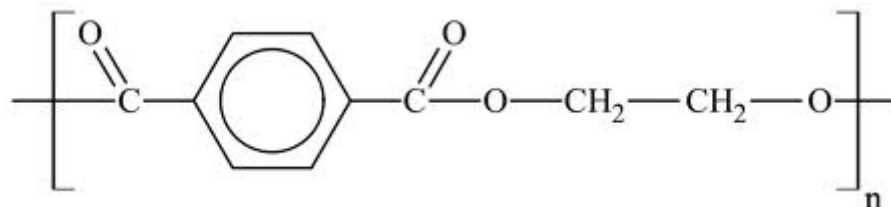
Obrázek č. 3.2: Strukturní vzorec molekuly polypropylenu [28]

- **Polyesterová vlákna**

Polyester, konkrétně polyethyltereftalát (PET) je rovněž synteticky vyráběný polymer, který se připravuje polykondenzací kyseliny tereftalové a ethylenglykolu při teplotách okolo 190°C. V následném procesu zvláknění dojde k vytvoření vláknenných struktur [27].

V současnosti je polyesterové vlákno jedním z nejvíce využívaných syntetických vláken v textilním průmyslu. Polyesterový materiál je polárnější v porovnání s poly-

propylenovým a tudíž má i méně hydrofobní charakter. Maximální teploty pro využití PET materiálů se pohybují kolem 180°C [27].



Obrázek č. 3.3 :Strukturní vzorec molekuly polyethyltereftalátu (PET) [29]

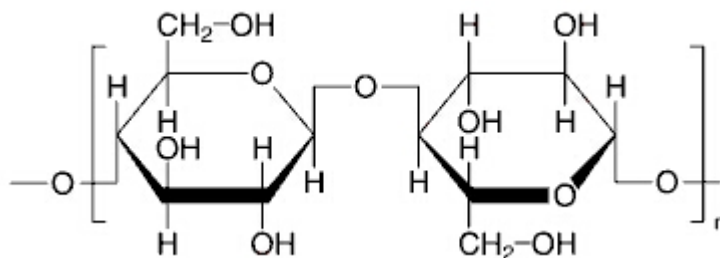
- Celulózová vlákna

Celulóza je přírodní polysacharidový polymer, tvořící trvalou strukturu rostlinných buněčných stěn. Jedná se o polymerní látku o velké molekulové hmotnosti. Rovněž uspořádání (struktura) jednotlivých makromolekul je velmi složitá a variabilní [27].

Vlastní celulózová vlákna pak obsahují vedle celulózového podílu velké množství různých příměsí, daných i rostlinným původem [27].

Celulózová vlákna svým chemickým složením lze zařadit mezi vlákna s vysoce polárním charakterem. Toto však obecně platí o vláknech zbavených doprovodných příměsí v procesech tzv. předúpravy (textilní termín pro zpravidla chemické procesy eliminace doprovodných látek z celulózových vláken) [27].

Původní vlákna vykazují právě díky doprovodným látkám relativně vyšší hydrofobní charakter, který neodpovídá vlastnímu chemickému složení vláken [27].



Obrázek č. 3.4: Strukturní vzorec molekuly celulózy [30]

3.1 Posouzení netkaných materiálů JUTA a.s. ve vztahu k SE

Princip řešení:

Principem řešení tohoto bodu je stanovení a porovnání vytipovaných základních netkaných materiálů z produkce JUTA a.s. ve vztahu k dosahovaným hodnotám SE. Jedná se zejména o případný vliv vlastního materiálového složení (typ polymeru) a dále pak vlivu hmotnosti materiálu, jeho tloušťky, či vlastní konstrukce textilie.

Cílem je, na základě tohoto zhodnocení, vytipovat optimální základní textilní materiál (materiály) pro vlastní vývoj konečného výrobku - netkaného materiálu s maximální efektivitou odstínění EMS.

3.1.1 Vliv materiálového složení

Princip řešení:

Podstatou tohoto bodu je vyjasnění otázky, zda materiálové složení textilní konstrukce má vliv na dosažené hodnoty SE. Z hlediska materiálů používaných ve výrobním portfoliu JUTA a.s. připadají do úvahy 3 základní typy vláknenných surovin a to polypropylenová, polyesterová (polyethyltereftalová) a celulózová vlákna.

Pro eliminaci působení vlivů konstrukce byly vybrány materiály vyráběné stejnou technologií (mechanická vpichová technologie) o stejné průměrné plošné hmotnosti a přibližně podobné tloušťky materiálu (díky materiálovému rozdílu použitých vláken je i při stejné plošné hmotnosti praktická tloušťka vyrobeného materiálu mírně rozdílná).

Příprava vzorků:

Z dodaných vzorků (kusů) jednotlivých materiálů poskytnutých JUTA a.s. byly nastříhány vzorky o velikosti 210x300mm (formát A4) a označeny identifikačním číslem. U vzorků byla stanovena průměrná plošná hmotnost [g/m^2] a průměrná tloušťka [mm].

Označení vzorků:

Tabulka č. 3.2 Označení vzorků I

vzorek	Název a popis materiálu
1A1	vpichovaná netkaná textilie - celulózová vlákna
1B1	vpichovaná netkaná textilie - polyesterová vlákna
1C1	vpichovaná netkaná textilie - polypropylenová vlákna

Popis práce:

U odebraných vzorků byla stanovena průměrná plošná hmotnost pomocí vykržovacího zařízení používaného v JUTA a.s. Toto zařízení vyřizne přesný kruh s plochou 10cm^2 . Po zvážení a vynásobení hodnotou $\times 100$ je stanovena plošná hmotnost v $[\text{g}/\text{m}^2]$. Na takto připravených vzorcích byla pak následně stanovena průměrná tloušťka materiálu kalibrovaným přístrojem pro měření tloušťky.

Dále bylo provedeno měření elektrických vlastností, tj. elektrického odporu a rezistivity a následně vlastní hodnoty SE. Tato měření se provedla na zařízeních popsaných v kap. 2.3, dle postupu zde rovněž uvedeného.

Výsledky měření:

Statisticky zpracovaná data plošných hmotností porovnávaných vzorků jsou uvedeny v tabulce č. 3.3. Výsledky provedených měření jsou shrnuty v tabulkách č. 3.4 a č. 3.5.

Tabulka č. 3.3: Statistické zpracování dat plošných hmotností I

vzorek	průměr [g]	směr. odch.[g]	rozptyl [g^2]	var. koef. [%]
1A1	2,712	0,459	0,211	16,94
1B1	3,194	0,221	0,049	6,91
1C1	3,05	0,128	0,016	6,25

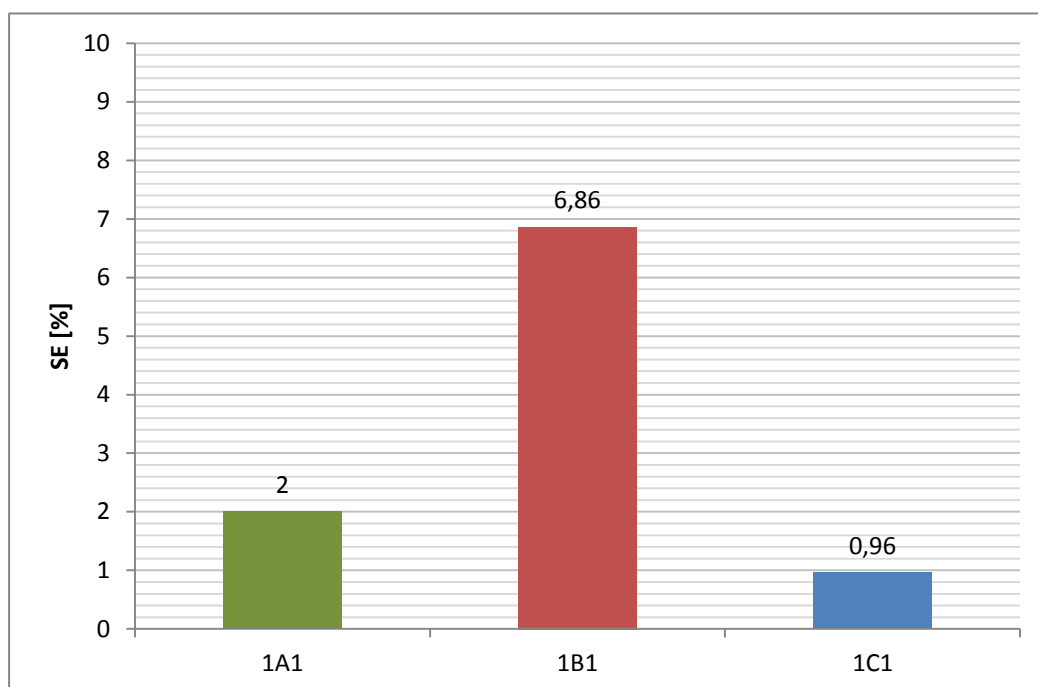
Tabulka č. 3.4: Elektrické vlastnosti materiálu

vzorek	plošná hmotnost [g/m ²]	ρ_v [Ω.cm]	ρ_s [Ω]	R_s [Ω]	R_v [Ω]
1A1	271	1,44E+11	2,86E+10	2,86E+09	1,50E+09
1B1	319	5,07E+10	1,19E+10	1,20E+09	9,79E+08
1C1	305	4,85E+11	1,22E+11	1,22E+10	4,30E+09

Tabulka č. 3.5: Vliv materiálu na SE

vzorek	P_1 [W/m ²]	P_2 [W/m ²]	SE [dB]	SE [%]
1A1	10	9,8	0,088	2
1B1	10,2	9,5	0,309	6,86
1C1	10,4	10,3	0,042	0,96

Hodnoty vypočítaných SE [%] jsou pro názornost porovnány na obrázku č. 3.5, kde každá řada představuje jeden zkoušený materiál.



Obrázek č. 3.5: Graf vlivu materiálu na SE

Diskuze výsledků:

Cílem bodu bylo principiálně porovnat konstrukčně a hmotnostně stejné netkané textilie s různým materiálovým složením a stanovit tak vliv materiálového složení na vlastní SE.

U vybraných materiálů JUTA a.s. byla stanovena plošná hmotnost, tak aby byly porovnávány materiály se stejnou hmotností. Při stanovení hmotnosti byl zjištěn rozptyl hodnot plošné hmotnosti u netkané textilie s polypropylenovými a polyesterovými vlákny v rozsahu do 8% plošné hmotnosti jak směrem nad tak i pod cílenou hmotnost 300g/m². U netkané textilie s celulóзовými vlákny byl tento rozptyl dokonce do 16% (použitá celulózová vlákna jsou celkově hrubší a vlastní netkaná textilie vykazuje nižší rovnoměrnost). Určitý stupeň nerovnoměrnosti je však u těchto netkaných materiálů obecným rysem, vyplývajícím už z vlastního technologického postupu přípravy.

Při stanovení tloušťky materiálu byly i při zhruba stejně zvolené hmotnosti naměřeny rozdíly, dané jednak vlastní nerovnoměrností textilie, tak i vlastním použitým materiálem.

Celulózová netkaná textilie vykazala tedy největší tloušťku. PP a PET materiály pak měly hodnoty podobné. Stanovený rozptyl hodnot byl podobný jako u stanovení plošné hmotnosti. Největší rozptyl byl opět zaznamenán u celulózové textilie.

Při proměření chování testovaných materiálů ve vztahu k vlastní SE byly zjištěny obecně velmi nízké hodnoty svědčící o velmi nízké stínící účinnosti těchto materiálů, v očekávané shodě s předpokladem. Přesto jsou zajímavé rozdíly, které ukazují jako „nejlepší“ materiál právě netkanou textilií na bázi PET vlákna. Tento výsledek lze rovněž vysvětlit na základě chemického složení materiálu. PET je celkově výrazně polárnější polymer. Naproti tomu PP je materiál s výrazným nepolárním charakterem.

Je zajímavé, že PET dopadl nejlépe, i když celulózové vlákno díky chemické struktuře vykazuje výrazně polárnější charakter. Vysvětlením je však poměrně hydrofobní charakter vlastního celulózového materiálu díky obsahu nejrůznějších přírodních látek, protože vlastní netkaná textilie je vyrobena ze surového vlákna bez jakékoli úpravy.

Vlastním závěrem z těchto měření je tedy vybrání polyesterového vlákna jako nejlepšího pro vlastní netkanou textilii, z dostupných a zpracovávaných materiálů v rámci JUTA a.s.

3.1.2 Vliv konstrukce materiálu, tloušťka materiálu

Princip řešení:

V tomto bodě je podstatou ověření vlivu konstrukce a tloušťky materiálu na dosažené hodnoty SE. K dispozici bylo celkem 10 vzorků odlišných plošných hmotností, konstrukcí (i když se jedná o netkané textilie, liší se technologií výroby) a tloušťkou.

Příprava vzorků:

Z dodaných vzorků (kusů) jednotlivých materiálů (poskytnutých JUTA a.s.) byly nastříhány vzorky o velikosti 210x300mm (formát A4) a označeny identifikačním číslem. U vzorků byla stanovena průměrná plošná hmotnost [g/m^2] a průměrná tloušťka [mm].

Označení vzorků:

Tabulka č. 3.6: Označení vzorků II

vzorek	název a popis materiálu
1A2	vpichovaná netkaná textilie - celulózová vlákna
1A1	vpichovaná netkaná textilie - celulózová vlákna
1B2	air – laid netkaná textilie - celulózová vlákna
1C2	air – laid netkaná textilie - celulózová vlákna
1D2	vpichovaná netkaná textilie – směs vláken
1E2	vpichovaná netkaná textilie - polyesterová vlákna
1F2	vpichovaná netkaná textilie - polyesterová vlákna
1B1	vpichovaná netkaná textilie - polyesterová vlákna
1G2	vpichovaná netkaná textilie – polypropylenová vlákna
1C1	vpichovaná netkaná textilie - polypropylenová vlákna

Popis práce:

Stanovení průměrné plošné hmotnosti bylo prováděno stejným způsobem jako v kapitole 3.1.1 pomocí vykružovacího zařízení. Stejně tak tloušťka byla stanovena tožným způsobem. Na vzorcích bylo provedeno měření elektrických vlastností a zjišťování hodnot SE, viz kapitola 2.3. Pro zjištění plošné hmotnosti materiálu je nutné zjistit průměrné hmotnosti jednotlivých vzorků a tyto výsledky statisticky zpracovat.

Dva vzorky byly bez určení materiálu, bylo nutné podrobit je analýze, kdy bylo metodou tavení vláken určeno, o jaký materiál se jedná. Konkrétně jde o vzorky č. 1F2 a 1I2.

Výsledky měření:

Statisticky zpracovaná data jsou uvedena v tabulce č. 3.7. Výsledné hodnoty elektrických vlastností jsou zaznamenány v tabulce č. 3.8 a hodnoty SE [%] jsou zaznamenány v tabulce č. 3.9. Na obrázku č. 3.6 jsou porovnané hodnoty tloušťky všech vzorků spolu s hodnotami SE [%]

Tabulka č. 3.7: Statistické zpracování dat plošných hmotností II

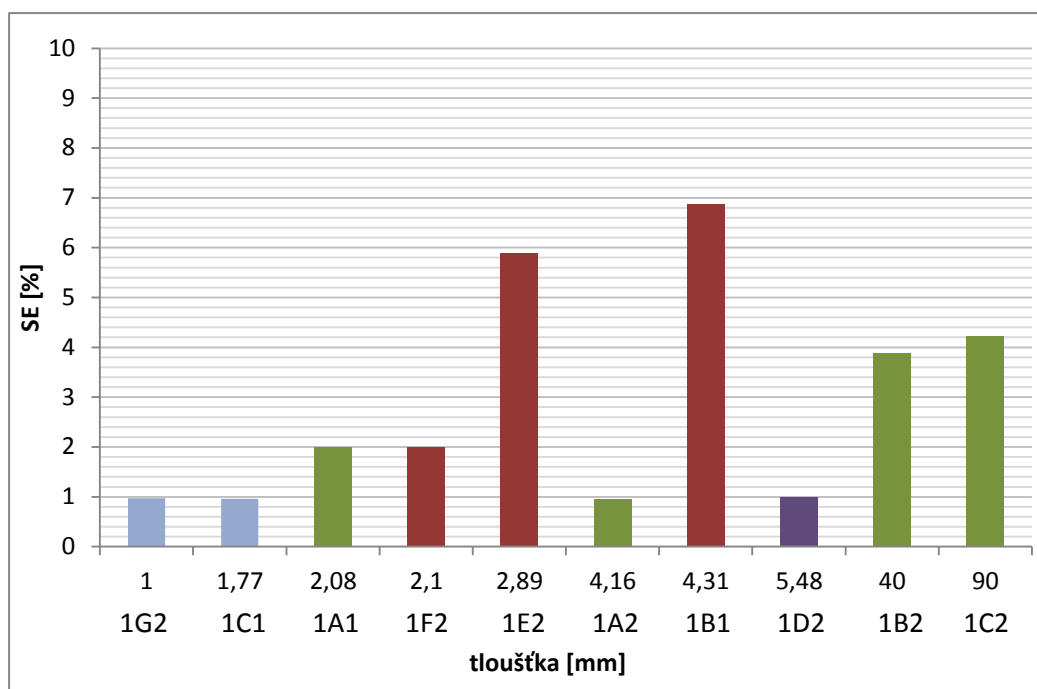
vzorek	průměr [g]	směr. odch.[g]	rozptyl [g ²]	var. koef. [%]
1A2	5,524	0,20743	0,04303	3,755
1A1	2,712	0,45931	0,21097	16,936
1B2	x	x	x	x
1C2	x	x	x	x
1D2	6,464	0,33598	0,11288	5,198
1E2	3,462	0,314595	0,09897	9,087
1F2	2,134	0,18968	0,03598	8,889
1B1	3,194	0,22075	0,04873	6,911
1G2	5,054	0,098133	0,00963	1,942
1C1	3,05	0,12806	0,0164	6,247

Tabulka č. 3.8: Vlastnosti neupravených vzorků, elektrické vlastnosti

vzorek	plošná hmotnost [g/m ²]	tloušťka [mm]	ρ_v [Ω.cm]	ρ_s [Ω]	R_s [Ω]	R_v [Ω]
1A2	552	4,16	8,63E+09	5,72E+09	5,72E+08	1,80E+08
1A1	271	2,08	1,44E+11	2,86E+10	2,86E+09	1,50E+09
1B2	x	40	1,05E+09	1,85E+09	1,85E+08	2,10E+08
1C2	x	90	5,54E+08	1,69E+09	1,69E+08	2,50E+08
1D2	646	5,48	1,12E+11	5,49E+10	5,49E+09	3,10E+09
1E2	346	2,89	2,89E+11	1,25E+11	1,25E+10	4,20E+09
1F2	213	2,1	2,57E+10	1,32E+10	1,32E+09	2,70E+08
1B1	319	4,32	5,07E+10	1,19E+10	1,20E+09	9,79E+08
1G2	505	1,00	1,56E+10	1,81E+10	1,81E+09	3,50E+08
1C1	305	1,77	4,85E+11	1,22E+11	1,22E+10	4,30E+09

Tabulka č. 3.9: Hodnoty SE neupravených vzorků

vzorek	P_1 [W/m ²]	P_2 [W/m ²]	SE [dB]	SE [%]
1A2	10,5	10,4	0,042	0,95
1A1	10	9,8	0,087	2
1B2	10,3	9,9	0,172	3,88
1C2	10,4	9,96	0,188	4,23
1D2	10	9,9	0,043	1
1E2	10,2	9,6	0,263	5,88
1F2	10	9,8	0,088	2
1B1	10,2	9,5	0,309	6,86
1G2	10,3	10,2	0,042	0,97
1C1	10,4	10,3	0,042	0,96



Obrázek č. 3.6: Graf vlivu tloušťky a konstrukce na SE

Diskuze výsledků:

Cílem tohoto bodu bylo porovnat netkané materiály s různou výrobní konstrukcí, s různou plošnou hmotností a tedy i tloušťkou vlastního materiálu a stanovit tak vliv tloušťky a konstrukce netkaných textilií na vlastní SE.

Konstrukce materiálu je určována především technologií výroby vlastní netkané textilie. Použitým materiálem, celkovou plošnou hmotností a mírou zpevnění textilie je pak dána tloušťka netkané textilie a její plošná hmotnost. Statistickým zpracováním dat hmotností vzorků bylo zjištěno, že netkané textilie díky technologii výroby jsou hmotnostně velmi nestejnoměrné, hodnoty jsou velice variabilní. Samotná variabilita např. celulósových vláken dosahuje až 16%. Ani materiály ze syntetických vláken nevykazují velkou hmotnostní stejnoměrnost. Tento jev je viditelný např. na vzorku 1H2 (polyesterová vlákna), kdy variabilita hmotnosti dosahuje až 9%. V tomto ohledu dopadl nejlépe vzorek 1I2, netkaná textilie z polypropylenových vláken.

Jev nerovnoměrnosti netkaných materiálů samozřejmě způsobí i určitý rozptyl dalších měřených hodnot, včetně hodnot dosažených SE. Nicméně se jedná o fakt, se

kterým je třeba u těchto materiálů počítat a výsledné naměřené hodnoty parametrů v souvislosti s tím i takto posuzovat.

Z tabulek elektrických vlastností lze snadno zjistit, že hodnoty jsou velmi vysoké. Tomu odpovídá fakt, že vzorky jsou elektricky velmi málo vodivé, dalo by se říci spíše nevodivé. To napovídá o neschopnosti materiálu stínit EMS. Všechny zaznamenané hodnoty se pohybují průměrně v $10^9 \Omega$. Aby materiál prokázal vodivé vlastnosti, hodnoty by se musely pohybovat v jednotkách $[\Omega]$. Všechny vzorky jsou netkané textilie, avšak liší se konstrukcí vláknenné vrstvy. Obecně ale můžeme poznatky shrnout do jednoho závěru – konstrukce (technologie tvorby a zpevnění vláknenné vrstvy) nemá vliv na SE.

Tloušťka materiálu by se mohla zdát jako předmět ovlivnění hodnoty SE. Vzorky byly vybírány tak, aby jejich tloušťka byla i na pohled rozdílná. Materiálem s největší tloušťkou (90mm) byla celulózová netkaná textilie 1C2 používaná jako tepelná izolace. Hodnota stínění u toho vzorku se pohybovala pouze kolem 4%. Oproti tomu netkaná textilie z polypropylenových vláken 1H2 je materiálem velmi tenkým (1mm). Hodnota SE [%] tohoto materiálu dosahovala hodnot menších než 1%. Měřením bylo zjištěno, že tloušťka, pokud se budou porovnávat tyto dva již zmíněné vzorky, vliv na stínění má. Avšak obecně, vztaženo pro všechny měřené vzorky, nemůžeme mluvit o jejich schopnosti stínit EMS. I když je zřejmé, že silnější materiál vykazuje o něco lepší stínící vlastnosti, dosahované hodnoty SE jsou v podstatě z praktického hlediska zanedbatelné.

Z provedených měření lze tedy konstatovat, že konstrukce materiálu ani jeho tloušťka nemá podstatný vliv na schopnost odstínit EMS. Z měření elektrických vlastností lze říci, že jak konstrukce, tak ani tloušťka těchto materiálů nemá vliv na vodivost elektrické energie materiálem.

3.2 Systémy směsi s vodivými vlákny

Princip řešení:

Použití speciálních vodivých vláken je další z možností, jak zvýšit elektrickou vodivost textilií. Byly vytipovány dva typy komerčně dostupných vodivých vláken a to speciální modifikované polyakrylonitrilové vlákno (PAC) a vlákno kovové (nerezové).

Principem řešení bylo stanovit vlastnosti samotných vláken a z nich poté technologií vpichování vyrobit netkanou textilií ze směsi speciálního a polyesterového vlákna. Jednotlivé připravené vzorky se liší obsahem vodivých vláken ve směsi.

Příprava vzorků:

Pro vlastní pokusy byla získána tato vlákna:

Kovové (nerezové) vlákno BEKINOX PES 12/50 a BEKINOX PES 12/50 GL (maximální podíl vláken délky 60mm - uzpůsobeno pro automatické strojní dávkování) od firmy Bekaert (směs 50% kovového vlákna a 50% polyesterového vlákna již dodávaného výrobcem) a speciálně modifikované (obsahuje sulfidy mědi a stříbra) polyakrylonitrilové vlákno EURO-STATIC od firmy Europa. Prvním úkolem bylo stanovení elektrických vodivých vlastností a hodnot SE pro samotná vlákna. Vzorky byly připraveny tak, kdy jednotlivá vlákna byla postupně naskládána a připevněna rovnoměrně v jednom směru na podkladový papír. Takto byly připraveny vzorky o velikosti 110x150mm (A6) a následně proměřeny.

Další použité vzorky textilií byly:

- vzorek textilní tapety vyrobené z dodaného vlákna EUROSTATIC (3,3dtx/60mm), dodala pro ilustrační porovnávací zkoušky firma EUROPA
- vzorek netkané vpichované textilie s nízkým obsahem (cca 2%) modakrylového vlákna EUROSTATIC vyráběné přímo firmou JUTA a.s. pro použití v oblasti výroby koberců. Tento vzorek byl použit právě pro ověření vlastností stávající vyráběné konstrukce ve vztahu schopnost stínit EMS

Z dodaného kusu netkané textilie z produkce JUTA a.s. byl vystřižen vzorek o velikosti A4. Podobně ze vzorku textilní tapety. Poté byly vzorky rovněž proměřeny.

Z vlastních dodaných vzorků vodivých vláken byly pak na Katedře netkaných textilií připraveny sady vzorků, kdy tato vlákna byla smíchána s běžnými polyesterovými (Green fiber, barva bílá, 4,4/76), a to v 9%, 14% a 20% zastoupení (vodivé vlákno/PES). Požadavkem bylo vyrobit textilií 300g/m². Stroje jsou pouze tzv. poloprovozní, takže bylo zapotřebí připravit směs vláken, kdy ze dvou dávek se vyrobí textilie o hmotnosti cca 140g/m². Bylo tedy nutné připravit 4 směsi k výrobě jednoho vzorku. Po

prvotním směsování ručním a následně na mykacím stroji byla vyrobena pavučina, která byla po vyjmutí ze stroje znovu ručně rozvolněna a předložena mykacímu stroji, aby došlo k lepšímu promísení vláken. Pavučina byla vrstvena na pás, který nakladené vrstvy předkládal jehlovacímu stroji, kde byly vrstvy zpevněny. Materiál prošel jehlovacím strojem 3x, aby bylo docíleno vhodné struktury. Netkané textilie se vyráběly jak z vláken BEKINOX PES 12/50 GL (vybráno na základě měření), tak EUROPA.

Použité stroje:

mykací stroj,

jehlovací stroj.

Označení vzorků:

Tabulka č. 3.10: Označení vzorků III

vzorek	struktura	složení
2A	vlákna, směr	BEKINOX PES 12/50 GL
2B	vlákna, směr ==	BEKINOX PES 12/50 GL
2C	vlákna, směr	BEKINOX PES 12/50
2D	vlákna, směr ==	BEKINOX PES 12/50
2E	vlákna, směr	EUROPA
2F	vlákna, směr ==	EUROPA
2G	tapeta	EUROPA
2H	netkaná textilie vpichovaná	modakryl (JUTA a.s.)
2I	netkaná textilie vpichovaná	BEKINOX PES 12/50 GL 9%
2J	netkaná textilie vpichovaná	BEKINOX PES 12/50 GL 14%
2K	netkaná textilie vpichovaná	BEKINOX PES 12/50 GL 20%
2L	netkaná textilie vpichovaná	EUROPA 9%
2M	netkaná textilie vpichovaná	EUROPA 14%
2N	netkaná textilie vpichovaná	EUROPA 20%

Pozn.: symboly == a || označují orientaci vláken vůči zdroji elektromag. záření

Popis práce:

Připravené vzorky z vláken byly proměřeny v obou směrech orientace vláken (svislém i vodorovném) vůči zdroji vyzařování. Elektrické vlastnosti těchto vzorků nebylo možno změřit. Vzorky NT spolu s NT vyráběnou společností JUTA a.s. byly podrobeny měření elektrických vlastností a dále pak i schopnosti stínit EMS.

Výsledky měření:

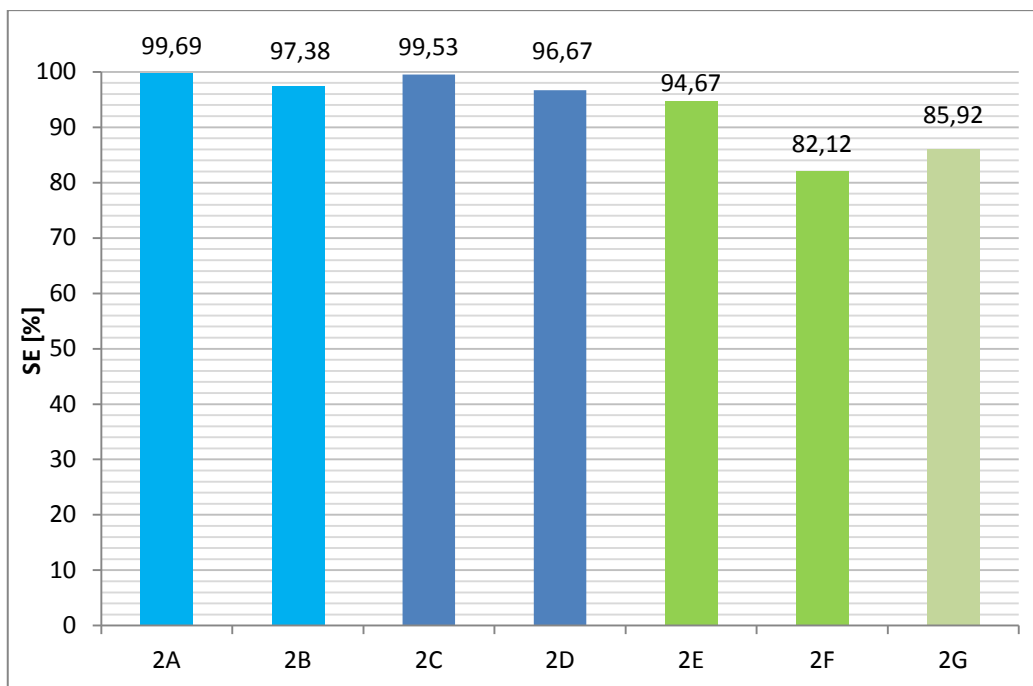
V následujících dvou tabulkách č. 3.11 a 3.12 jsou uvedené naměřené hodnoty. Graficky znázorněné hodnoty jsou k vidění na obrázcích č. 3.7 a 3.8.

Tabulka č. 3.11: Elektrické vlastnosti PAC tapety a netkaných textilií z vodivých vláken

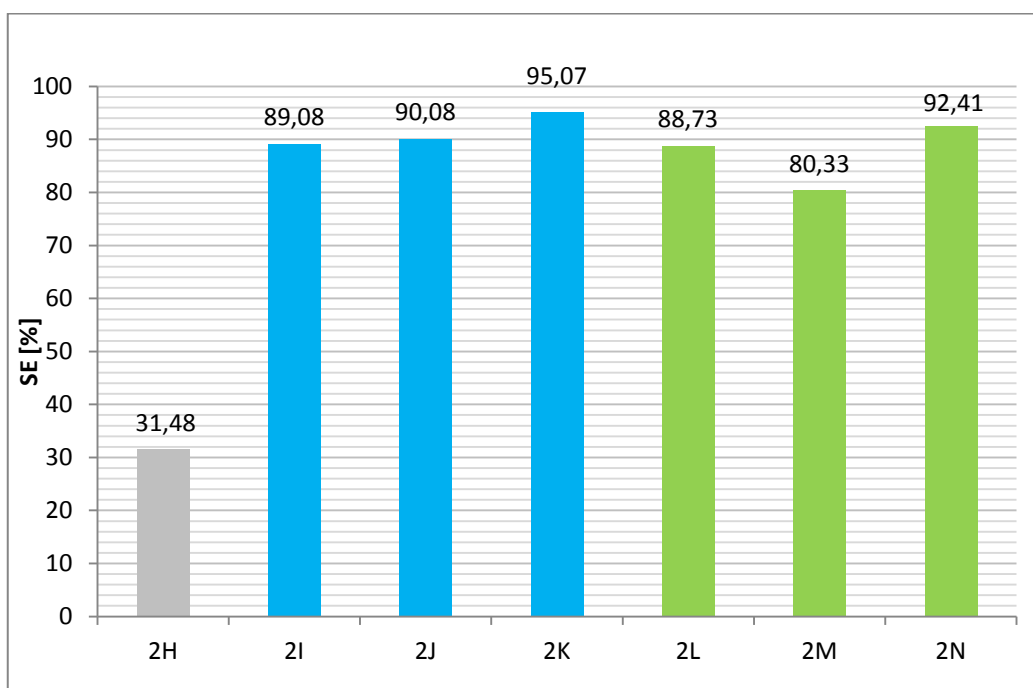
vzorek	$\rho_v [\Omega \cdot \text{cm}]$	$\rho_s [\Omega]$	$R_v [\Omega]$	$R_s [\Omega]$
2G	6,80E+03	5,75E+03	4,70E+03	5,75E+04
2H	1,41E+05	1,01E+05	2,85E+03	1,01E+04
2I	9,10E+06	7,00E+06	2,00E+06	7,00E+05
2J	1,10E+05	1,34E+05	1,96E+04	1,34E+04
2K	1,69E+04	2,27E+04	3,45E+03	2,27E+03
2L	1,33E+04	3,80E+03	2,61E+03	3,80E+02
2M	1,52E+04	1,30E+03	3,42E+03	1,30E+02
2N	5,68E+02	1,03E+03	1,26E+02	1,03E+02

Tabulka č. 3.12: Hodnoty SE PAC a BEKINOX vláken, PAC tapety a netkaných textilií

vzorek	$P_1 [\text{W}/\text{m}^2]$	$P_2 [\text{W}/\text{m}^2]$	SE [dB]	SE [%]
2A	14	0,044	25,03	99,69
2B	14,5	0,38	15,82	97,38
2C	14,9	0,07	23,28	99,53
2D	15	0,5	14,77	96,67
2E	15	0,8	12,73	94,67
2F	15,1	2,7	7,48	82,12
2G	7,6	1,07	8,51	85,92
2H	10,8	7,4	1,64	31,48
2I	11,9	1,3	9,62	89,08
2J	12,1	1,2	10,04	90,08
2K	14,2	0,7	13,07	95,07
2L	14,2	1,6	9,48	88,73
2M	12,2	2,4	7,06	80,33
2N	13,3	1,01	11,19	92,41



Obrázek č. 3.7: Graf vlivu vodivých vláken a tapety PAC (2G) na SE



Obrázek č. 3.8: Graf vlivu netkaných textilií z vodivých vláken na SE

Diskuze výsledků:

Dříve, než bylo přistoupeno ke směsování aktivních vláken s vlákny polyesterovými za účelem vyrobit netkané textilie schopné stínit EMS, byla proměřena tato samotná vlákna. Elektrické vlastnosti vláken nebylo možno proměřit. Efektivita stínění byla zjišťována ve dvou směrech uspořádání vláken, vodorovném a svislém vůči zdroji záření. Z výsledků znázorněných na obrázku č. 3.7 je viditelné, že u nerezových vláken (BEKINOX) na směr vláken až tak nezáleží, hodnoty se pohybují nad hranicí 96%. Vlákná EUROPA nedosahují tak dobrých hodnot, konkrétně 88%, jako vlákna nerezová, zdá se, že vliv má i směr uspořádání vláken vůči zdroji záření, kdy je hodnota SE 82%. K těmto měřením byla přiřazena i textilní tapeta z vláken EUROPA. Hodnota SE je téměř 86%.

Výroba netkaných textilií z vodivých vláken byla prováděna na Katedře netkaných textilií v poloprovozních podmínkách, proto mohlo při výrobě dojít např. k nedokonalému promísení vláken aktivních a polyesterových, ke ztrátě vláken z důvodů diskontinuální návaznosti strojních zařízení apod. Přesto byly vyrobeny pro každou směs (PES + BEKINOX, PES + EUROPA) 3 vzorky vpichovaných NT, kde se obsah vodivých vláken lišil (9%, 14% a 20% aktivních vláken ve směsi). K těmto námi vyrobeným vzorkům byl přiřazen vzorek 2H vyráběný společností JUTA a.s. z modakrylových vláken, který je již společností nabízen. U všech těchto vzorků byly zjišťovány elektrické vlastnosti. Z hodnot v tabulce č. 3.11 vyplývá, že nejlepší elektrickou vodivost má vzorek 2N. Pokud ale vezmeme v potaz hodnoty SE vzorku 2N, není tento vzorek nejlepším stínícím prostředkem EMS. Jeho hodnota je sice vysoká, 92%, ale není největší. Nejlepším stínícím prostředkem je netkaná textilie obsahující 20% BEKINOX vláken ve směsi, kdy její hodnota SE dosahovala 95%. Neuspokojujícím je vzorek 2H, kdy jeho hodnoty SE jsou o dvě třetiny nižší, a to 31%.

Je zřejmé, že pokud se by procentuální obsah vodivých vláken ve směsi s polyesterovými (nebo jakýmkoliv klasickými nevodivými) vlákny zvýšil, hodnoty SE porostou.

3.3 Systémy obsahující kovové folie

Princip řešení:

Kov, jako takový, je známý pro svou schopnost vést elektrický proud. Další možnou metodou, jak pomocí textilií odstínit elektromagnetický smog, je použití kovových folií v kombinaci s textilním materiálem, v našem případě s netkanou textilií. Bylo získáno několik vzorků komerčně dostupných kovových folií samotných, případně již ve formě tenkých laminátů se slabou textilní netkanou vrstvou (tyto materiály poskytují i praktickou lepší manipulaci s vlastním materiálem) od renomovaných výrobců těchto typů folií. Podstatou tohoto bodu je proměření jejich elektrických vlastností a následné stanovení schopnosti stínění (SE). Cílem je pak vytipování vhodného typu folie jak z hlediska technických parametrů, tak i s ohledem na cenu takové folie.

Příprava vzorků:

Dodané vzorky kovových folií od německých firem KERAFOF Keramische Folien GmbH a Bachmann Alutec GmbH cca o velikosti 25x15cm byly ihned připraveny k proměření, žádná úprava nebyla potřeba. K těmto vzorkům byla ještě přiřazena tuzemská obalová folie ALOBAL pro porovnání dosažených parametrů.

Označení folií:

Tabulka č. 3.13.: Označení kovových folií

vzorek	Kerafol	složení
3A	86/77	obsah mědi
3B	90/10 (0,2mm)	plněno grafitem
3C	90/10 (0,15mm)	plněno grafitem
3D	F96	obsah ferritu
Bachmann Alutec		
3E	BAV3+PV	PET-Al-Vlies 12/7/Polyestervlies/12
3F	BAV2+PV	Al-PET-Vlies 7/12/Polyestervlies
3G	BAV3	Al-PET-Al 12/7/12
3H	BAV2	Al-PET 7/12
3I	BCV2	Cu-PET 18/12
3J	BCV2	Cu-PET 36/12
3K	Alobal	Al

Popis práce:

Kovové folie byly podrobeny oběma měření. Samotné měření nebylo v ničem odlišné od měření textilních vzorků. Předpoklady pozitivních výsledků však byly větší. Měření elektrických vlastností probíhalo pouze povrchově, rezistivita objemová je u těchto kovových folií obtížně měřitelná z důvodu potažení folie nevodivou vrstvou.

Výsledky měření:

Naměřené hodnoty elektrických vlastností jsou uvedeny v tabulce č. 3.14, hodnoty SE jsou pak uvedeny v tabulce s č. 3.15. Tabulky zahrnují data pro obě firmy najednou spolu s alobalem.

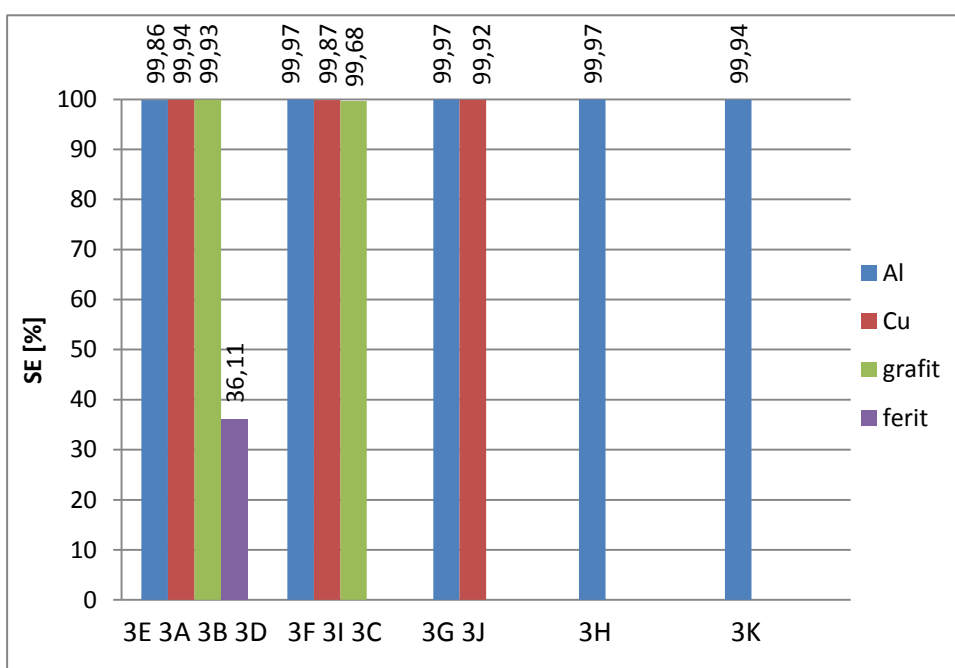
Tabulka č. 3.14: Elektrické vlastnosti folií fy Kerafol (3A-3D) a Bachman Alutec (3E-3J)

vzorek	ρ_s [Ω]	R_s [Ω]
3A	5,52E+04	5,523E+03
3B	293,24	29,36
3C	3,54E+04	3543
3D	4,80E+10	4,80E+09
3E	4,00E+10	4,00E+09
3F	1,90E+03	1,90E+02
3G	5,10E+10	5,10E+09
3H	608,02	60,8
3I	107,15	10,72
3J	62,4	6,24
3K	107,11	10,71

Tabulka č. 3.15: Hodnoty SE kovových folií fy Kerafol (3A-3D) a Bachmann Alutec (3E-3J)

vzorek	P ₁ [mW/m ²]	P ₂ [mW/m ²]	SE [dB]	SE [%]
3A	10	0,006	32,22	99,94
3B	60	0,04	31,76	99,93
3C	6	0,019	24,99	99,68
3D	7,2	4,6	1,95	36,11
3E	7,1	0,01	28,51	99,86
3F	7,2	0,002	35,56	99,97
3G	7,1	0,002	35,50	99,97
3H	7,3	0,002	35,62	99,97
3I	15	0,019	28,97	99,87
3J	14,5	0,012	30,82	99,92
3K	19,75	0,0123	35,48	99,94

Na obrázku č. 3.9 jsou porovnané hodnoty SE [%] kovových folií obou výrobců, fy Kerafol GmbH (3A – 3D) a Bachmann Alutec GmbH (3E – 3J). Vzorek 3K je hliníková folie - Alobal.



Obrázek č. 3.9: Graf porovnávající vliv kovových folií na SE

Diskuze výsledků:

Jak již bylo zmíněno, předpoklad pozitivních výsledků v rámci schopnosti stínit EMS je u kovových materiálů vysoký. Proměřením vlastností bylo možno porovnat kovové folie od dvou různých dodavatelů a vybrat takovou kovovou folii, která bude vhodná pro další aplikace v kombinaci s textilním materiálem. Samotný výběr se odvíjí od schopnosti odstínit EMS a důležitým faktorem výběru je i cena kovové folie.

Hodnoty zaznamenané v tabulkách k jednotlivým měřením demonstrují u některých vzorků výborné elektrické vlastnosti, konkrétně elektrickou vodivost, od které se stínění EMS nejčastěji odvíjí. Kovová folie 3H je toho důkazem, hodnoty SE jsou téměř 100%. Pravdou je, že některé vzorky vykazují celkem vysoké hodnoty rezistivity, např. 3E, co se ale stínění týká, hodnota SE je jednou z nejvyšších naměřených hodnot (téměř 100%). Je to způsobeno tím, že vzorek má na svém kovovém povrchu povlak PET, který neumožní povrchovou elektrickou vodivost (víme z bodu 3.1.1, že PET materiál není elektricky vodivý), efektivita stínění je však vysoká (viz bod 3.1.1, kde bylo zjištěno, že PET nemá vliv na stínění).

Obrázek grafu s č. 3.9 znázorňuje rozdíly ve schopnosti stínění EMS. Z graficky znázorněných hodnot je patrné, že jako nejméně vhodná je kovová folie 3D od fy Kerafol, kdy hodnota SE dosahuje „pouhých“ 36%, což je velmi nízké číslo oproti zbývajícím foliím. Způsobeno je to zřejmě materiálem folie. Ta je vyrobena z feritu, což je roztok uhlíku v železe, kdy obsah uhlíku je pouhých 0,018%. Železo samo o sobě má také nižší elektrickou vodivost než měď a hliník [32]. V případě měření kovových folií není v podstatě důležité, co se hodnot SE týká, která vykazuje nejlepší stínící účinky, s výjimkou 3D, protože zde nehrají roli desetiny procent. Obecně lze říci, že stínění je 100%, tudíž aplikace kovové folie např. v kombinaci s netkanou textilií výše proměřenou, je jako stínící materiál vhodný a předem doporučený. Protože je k další aplikaci nutno vybrat folii, která bude vhodná jak hodnotami SE a také cenou, byly zvoleny vzorky 3K pro výrobu pásků vpichovaných sendvičů a 3H pro přípravu sendvičů nevpi- chovaných.

3.4 Systémy s povrchovou modifikací vlákenných struktur

Schopnost stínit EMS mají materiály elektricky vodivé. Další možností, jak textilní materiál z klasických vláken, který nevede elektrický proud, upravit, aby se stal vodivým, je modifikovat povrchově tuto vlákennou strukturu. Byly zvoleny dva směry, jimiž by se elektrická vodivost měla zvýšit. Jedním ze způsobů je impregnace textilního materiálu lázní, obsahující vodivé částice, druhým pak je příprava tzv. bariérových textilií nánosem suspenzí obsahující vodivé částičky na povrch jedné strany textilie.

3.4.1 Impregnační nanosové systémy

Princip řešení:

Principem bodu jsou impregnace netkaného materiálu lázní s vytipovanými produkty obsahující elektricky vodivé částice a zjištění, zda takto upravené textilní materiály vykazují požadované vlastnosti, tj. elektrickou vodivost a schopnost elektromagnetického stínění.

Příprava vzorků:

Z kusů netkané PET textilie o plošné hmotnosti 300 g/m^2 byly nastříhány vzorky o velikosti 210x300mm (formát A4), ty byly pro lepší orientaci v upravených vzorcích předem očíslovány. Vzorek pro impregnaci grafitu byl o velikosti 200x150mm (separátní impregnace v nádobce s odmačkem kvůli špinavosti produktu).

Pro impregnaci byly použité lázně s rozdílnými koncentracemi produktů, viz tabulka č. 3.1.

Použité chemikálie:

Colloidal copper,

Koloid srebra,

Silpure FBR 5,

THOMSIT R 762

Použité stroje:

fulár,

sušící a fixační rám,

rastrovací mikroskop.

Označení vzorků:

Tabulka č. 3.16: Označení vzorků

vzorek	Impregnační roztok
4A1	Colloidal copper - neředěný
4B1	Colloidal copper ředěný 1:1
4C1	Koloid srebra neředěný
4D1	Koloid srebra ředěný 1:1
4E1	Silpure FBR 5
4F1	THOMSIT R 762

Popis práce:

Vzorky před impregnací nanočástic byly nejprve zváženy (za sucha), následně klocovány (impregnovány) na fuláru a poté znovu zváženy. To vše z důvodu určení přívažku mokrého. U vzorku impregnovaného grafitem se určoval přívažek suchý, vzorek se vážil až po usušení a fixaci (kvůli špinivosti produktu). Přívažek je hmotnost lázně, kterou při impregnaci materiál přijal. Výsledek je vyjádřen v procentech plošné hmotnosti původního materiálu před impregnací. Přívažek vzorku se vypočítá z následujícího vztahu (12):

Vzorec pro výpočet přívažku:

$$p = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 [\%], \quad (12)$$

kde m_1 je hmotnost vzorku před impregnací, m_2 je hmotnost vzorku po impregnaci, p je přívažek. Hodnoty stanovených přívažků pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v následující tabulce č. 3.17.

Tabulka č. 3.17: Přívažky v [%] jednotlivých vzorků

vzorek	přívažek [%]
4A1	200
4B1	229
4C1	223
4D1	220
4E1	195
4F1	58

Po impregnaci byly vzorky sušeny a impregnační roztok vázán v sušící a fixační komoře po dobu 5min při 150°C. Takto připravené vzorky byly podrobeny měření elektrické rezistivity a dalších parametrů.

Výsledky měření:

Výsledky provedených měření elektrických vlastností a SE jsou shrnuty v tabulkách č. 3.18 a č. 3.19.

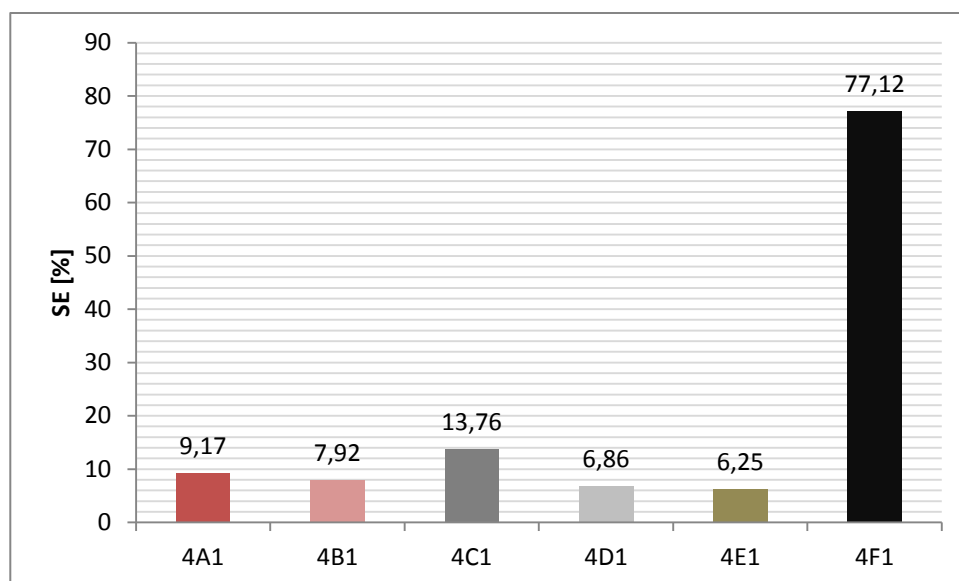
Tabulka č. 3.18: Elektrické vlastnosti impregnovaných vzorků

vzorek	ρ_v [$\Omega \cdot \text{cm}$]	ρ_s [Ω]	R_v [Ω]	R_s [Ω]
4A1	1,16E+11	2,86E+10	2,23E+09	2,87E+09
4B1	1,46E+11	2,97E+10	2,79E+09	2,97E+09
4C1	1,37E+11	3,48E+10	2,67E+09	3,49E+09
4D1	1,47E+11	2,64E+10	2,84E+09	2,64E+09
4E1	3,15E+11	5,47E+10	6,05E+09	5,47E+09
4F1	1,4E+07	1,12E0+07	2,9E+05	1,12E+06

Tabulka č. 3.19: Hodnoty SE impregnovaných vzorků

vzorek	P_1 [mW/m^2]	P_2 [mW/m^2]	SE [dB]	SE [%]
4A1	10,9	9,9	0,42	9,17
4B1	10,1	9,3	0,36	7,92
4C1	10,9	9,4	0,64	13,76
4D1	10,2	9,5	0,31	6,86
4E1	7,5	7,1	0,24	5,33
4F1	15,3	3,5	6,41	77,12

Grafický záznam hodnot SE je na obrázku č. 3.10, kde jsou uvedeny všechny impregnované vzorky nanočásticemi kovů a grafitem.



Obrázek č. 3.10: Graf vlivu obsahu nanočástic kovů a grafitu na SE

Diskuze výsledků:

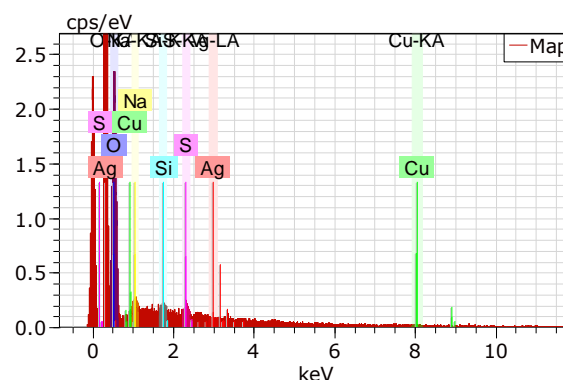
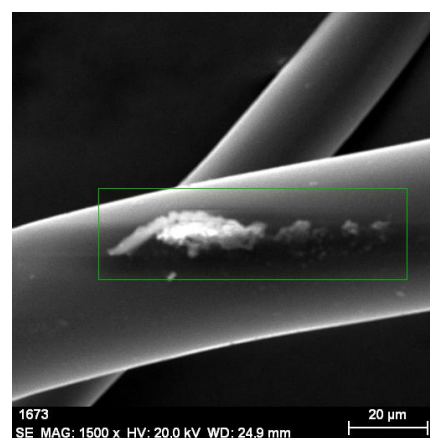
Impregnační byly na textilní materiál nanoseny nanočástice kovů a částčky grafitu s cílem zvýšit elektrickou vodivost netkaného materiálu. Pro použití nanočástic kovů hovořil zejména teoretický předpoklad rovnoměrného rozložení velmi malých částček kovu, jak je tomu obecně u nanoroztoků. Vzorky byly podrobeny zajišťování elektrických vlastností. Ty předurčují schopnost materiálu stínit EMS.

Měřením odporu, resp. rezistivity, bylo zjišťováno, zda nanosení nanočástic na materiál zvýšilo elektrickou vodivost. Hodnoty rezistivity se však pohybují v řádech $10^{10} \Omega$, což je hodnota velmi vysoká na to, aby materiál elektricky vodil, tudíž lze konstatovat, že materiál s nanočásticemi kovu je elektricky nevodivý. Vlákenná struktura impregnována roztokem grafitu měřením rezistivity prokázala určité zlepšení elektrických vlastností, hodnota rezistivity se snížila na hodnoty v $M\Omega$ ($10^6 \Omega$). Zde je však třeba zdůraznit, že na rozdíl od nanočástic, je obsah grafitu na materiálu několikanásobně vyšší.

Při proměření vzorků na efektivitu stínění bylo stanoveno, že hodnoty SE u těchto vzorků jsou velmi nízké, maxima dosahují 14% a to u vzorku 4C1, který byl kloco-

ván v koncentrovaném roztoku obsahující nanočástice stříbra, přičemž největší důraz byl kladen na vzorek 4E1, kdy bylo stříbro vázané v polymeru. Hodnota SE však dosáhla pouhých 5%. O mědi je obecně známo, že je to jeden z nejlepších vodičů vůbec. Ani obsah měděných nanočástic ve struktuře však nezvýšil schopnost materiálu stínit EMS. Přehledně jsou dosažené hodnoty SE porovnány na obrázku č. 3.10.

Neschopnost materiálu pohltit elektromagnetickému záření je připisováno zejména nízké koncentraci obsahu nanočástic v roztocích. K ujasnění tohoto problému byla provedena analýza částic ulpívajících na vláknech pomocí rastrovacího mikroskopu. Povrch vzorků byl před analýzou zvodivěn naprášením tenké vrstvy Au/Pd. Pořízené fotografie vláken a následně provedený rozbor částic na materiálu je jasným důkazem toho, že koncentrace obsahu kovu v roztoku byla natolik nízká, že se jednotlivé částčky vzájemně nedotýkaly a proto se nestal impregnovaný materiál elektricky vodivým. Obrázek č. 3.11 dokresluje tuto představu. Na polyesterovém vlákně vlevo je k vidění ulpívající shluk částic. V tomto případě by se mělo jednat o částice stříbra. Graf vpravo však dokládá, že stříbro ve shluku částic je zastoupeno poměrně nízkým dílem, shluk obsahuje mimo jiné i měď, vápník, kyslík, křemík. Díky této analýze bylo zjištěno, že koncentrace obsahu částic kovů v roztocích je nízká, proto nejsou takto upravené textilie schopné stínit EMS. Další fotografie impregnovaných vláken nanočásticemi kovu viz přílohy č. 7.



Obrázek č. 3.11: Mikroskopová analýza vzorku impregnovaného stříbrem

Elektrická vodivost grafitem impregnovaného materiálu, vzorek 4F1 dala materiálu předpoklad stínit elektromagnetické záření. Po změření hodnoty SE dosahovaly 77%, což je výsledek celkem dobrý, stínění je v porovnání se vzorky impregnovanými nanočásticemi kovu vysoké. Zde je třeba ale opět zdůraznit vysoký nános částic grafitu

na textilní materiál, který činil 58% původní hmotnosti vlákenného netkaného materiálu. Tento vysoký nános byl vedle zvýšení hodnoty elektrické vodivosti příčinou několik negativních průvodních jevů a to výrazné změny barvy, kdy původní vzorek z polyesterových vláken byl barvy béžové, po impregnaci grafitu černý. Změnila se i splývavost, po impregnaci vzorek ztuhl, splývavost je téměř nulová. Zde se nabízí otázka, zda by byl materiál po impregnaci i nadále vhodný svému dosavadnímu použití. Na závěr je nutno konstatovat, že i při zmíněném vysokém nánosu částic grafitu, nejsou dosažené hodnoty SE na žádoucí úrovni (jako je tomu např. u folií, viz bod 3.3).

3.4.2 Bariérové nánosy

Princip řešení:

Druhým způsobem modifikace vlákenné struktury je tzv. bariérový nános na povrch textilního materiálu. Nános (suspenze) obsahující kovové částice má docílit zvýšení elektrické vodivosti a schopnost tlumit průchod elektromagnetického záření přes bariéru. Jako vodivé částice byly vytipovány opět kovové či grafitové ve formě jemně mletého prášku nebo již hotové disperze.

Příprava vzorků:

Jako nosná textilie byla zvolena netkaná textilie z polyesterových vláken (220g/m^2), s oboustranně uhlazeným povrchem (tzv. kalandrování – uhlazený povrch se získá průchodem netkaného materiálu skrz horké válce). Z této textilie byly nastříhány vzorky o velikosti A4. Na každém jednom vzorku byl narýsován obdélník o velikosti $150 \times 200\text{mm}$ ($0,03\text{m}^2$) z důvodu určení stejně velké plochy pro všechny nánosové aplikace. Na tuto plochu pak bylo nanášeno vypočtené příslušné množství připravené suspenze, odpovídající celkové požadované hodnotě nánosu, uváděné v g/m^2 .

Použité chemikálie:

PLEXTOL,

LUTEXAL THICKENER HIT PLUS,

Fe Si 14 16,

CuTEC 50,

THOMSIT R 762,

COND 5 995,

AQUAPOR 42 13,

AQUAMET WPO/3200/65.

Použité stroje:

sušící a fixační rám – Mathis,

rastrovací mikroskop.

Nános Fe – složení: 50% Fe Si 14 16, 50% PLEXTOL DV 370, LUTEXAL THICKENER HIT PLUS v poměru 25g Fe Si 14 16, 25g PLEXTOL DV 370 a 0,25g LUTEXAL THICKENER HIT PLUS

Nános Cu - složení: 50% CuTEC 50, 50% PLEXTOL DV 370 v poměru 25g CuTEC 50 a 25g PLEXTOL DV 370. LUTEXAL THICKENER HIT PLUS nebylo třeba použít, suspenze byla velmi hustá, bylo nutno ji ředit vodou. Samotná aplikace hmoty na materiál byla velmi pracná, suspenze měla nízkou adhezi k materiálu. Takto připravená vrstva nebyla úplně homogenní.

Složení směsi pro přípravu vzorků 4G2 a 4H2: 10% CuTEC 50, 90% PLEXTOL DV 370 v poměru 5g CuTEC 50 a 45g PLEXTOL DV 370. Opět nebylo zapotřebí použít zahušťovadlo. Tyto vzorky byly připraveny na základě proměření první směsi, viz výše a to na základě naměřených elektrických vlastností i hodnot SE.

Nános C ve formě grafitu – složení: 50% COND 5 995, 50% PLEXTOL DV 370 a voda v poměru 25g COND 5 995, 25g PLEXTOL DV 370 a 25g vody (pro lepší nanášení). Připraveny byly tři vzorky pro různé koncentrace nánosu. Problém nastal s nanášením směsi na nosný materiál, kdy se nepodařilo grafitovou směs dostatečně promíchat z důvodu tvorby hrudek. Jejich množství ve směsi přibývalo s rostoucím množstvím vody.

Z důvodu neúspěchu aplikace první směsi na materiál (vzniklá suspenze prakticky neměla žádnou adhezi k textilií a nebylo možno ji tedy vůbec nanést) byla připravena směs druhá (THOMSIT R 762), která byla po zahuštění vhodná k nanesení na materiál.

Nános Al – v tomto případě byly k dispozici dva druhy past, do kterých byl Al prášek již zapracován.

Složení 1. směsi: 50% AQUAPOR, 50% PLEXTOL DV 370, LUTEXAL THICKENER HIT PLUS v poměru 25g AQUAPOR, 25g PLEXTOL DV 370 a 0,25g LUTEXAL THICKENER HIT PLUS.

Složení 2. směsi: 50% AQUAMET, 50% PLEXTOL DV 370, LUTEXAL THICKENER HIT PLUS v poměru 25g AQUAMET, 25 PLEXTOL DV 370 a 0,25g LUTEXAL THICKENER HIT PLUS.

Označení vzorků:

Tabulka č. 3.20: Označení vzorků V

vzorek	chemikálie	hmotnost nánosu na 1m ² [g]
4A2	Fe Si 14 16	400
4B2	Fe Si 14 16	600
4C2	Fe Si 14 16	800
4D2	CuTEC 50	400
4E2	CuTEC 50	600
4F2	CuTEC 50	800
4G2	CuTEC 50	300
4H2	CuTEC 50	600
4I2	THOMSIT R 762	300
4J2	THOMSIT R 762	600
4K2	AQUAPOR	200
4L2	AQUAPOR	400
4M2	AQUAPOR	600
4N2	AQUAPOR	800
4O2	AQUAMET	200
4P2	AQUAMET	400
4Q2	AQUAMET	600
4R2	AQUAMET	800

Popis práce:

Na nosný PET materiál byly naneseny připravené pasty obsahující vodivé částice pomocí stěrky (tzv. rakle). Rozdíly byly v celkové hmotnosti nánosu, uvedené po přepočtu na 1m^2 . Všechny druhy past byly připravovány stejným způsobem: základ tvořil kovový prach nebo pasta, který se smíchal s akrylátovým pojivem PLEXTOL DV 370 a poté se zahustil pomocí zahušťky LUTEXAL THICKENER HIT PLUS (pokud je suspenze dostatečně hustá, není potřeba LUTEXAL THICKENER HIT PLUS přidávat). Jednotlivé složky byly smíchány v určitém hmotnostním poměru, nános byl pak proveden do předem nakresleného obdélníku na vzorku. Tak bylo zjištěno nanosení odpovídající hmotnosti nánosu na odpovídající plochu textilie. Koncentrovaný roztok grafitu byl pouze zahuštěn a nanesen. Po nánosu suspenze raklí na materiál byl vzorek usušen a fixován na materiál v sušící a fixační komoře po dobu 5min při 150°C .

Samotné měření takto připravených vzorků bylo opět směřováno na elektrické vlastnosti materiálu a efektivitu stínění. Elektrický odpor, resp. rezistivita byla měřena u těchto vzorků pouze povrchově z důvodu povrchového nánosu na materiál. Suspenze se do vlastní vlákenné struktury dostala jen zřídka a pouze v místech nánosu, proto pouze to povrchové zjišťování vlastností.

Výsledky měření:

Výsledky provedených měření jsou shrnuty v tabulce č. 3.21, kde jsou hodnoty pouze povrchových elektrických vlastností upraveného materiálu. Naměřené hodnoty SE jsou zaznamenány v tabulce č. 3.22.

Tabulka č. 3.21: Elektrické vlastnosti bariérových nánosů

vzorek	$\rho_v[\Omega.\text{cm}]$	$R_v[\Omega]$
4A2	5,40E+10	5,40E+09
4B2	5,50E+10	5,50E+09
4C2	4,60E+10	4,60E+09
4D2	1,85E+08	1,85E+07
4E2	8,49E+07	8,50E+06
4F2	1,18E+08	1,18E+07
4G2	8,32E+08	8,33E+07

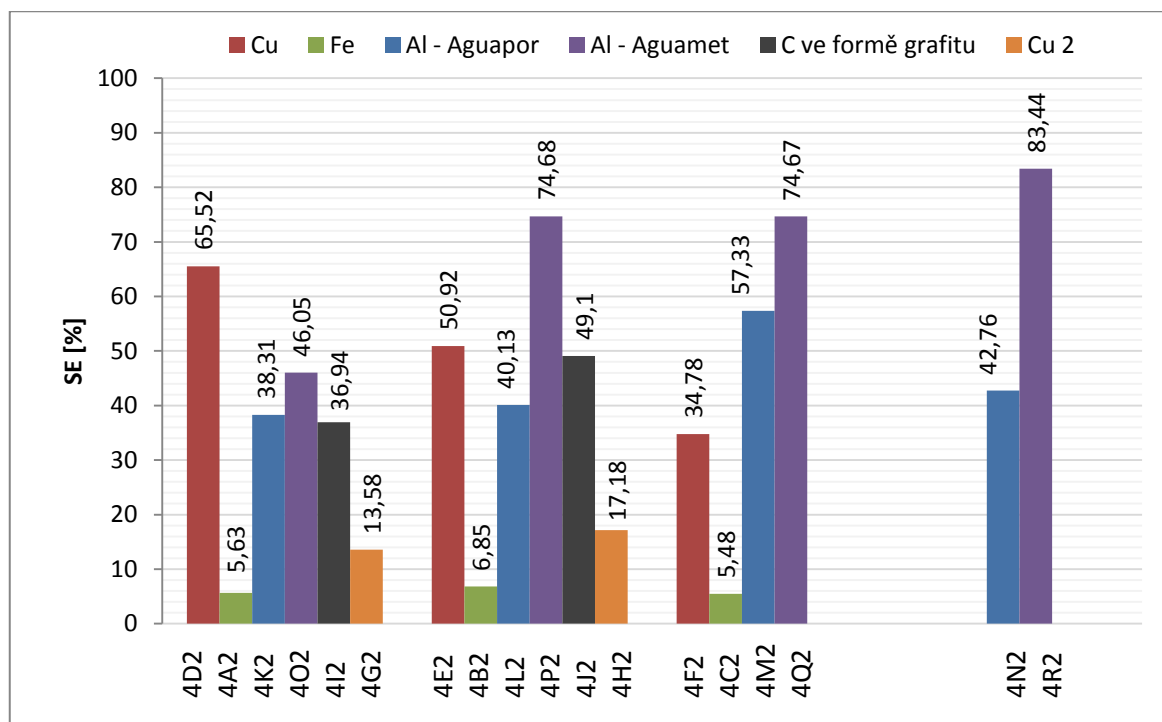
vzorek	$\rho_v[\Omega.cm]$	$R_v [\Omega]$
4H2	3,28E+10	3,28E+09
4I2	2,43E+04	2,43E+03
4J2	8,19E+03	8,20E+02
4K2	x	x
4L2	x	x
4M2	x	x
4N2	x	x
4O2	x	x
4P2	x	x
4Q2	9,96E+10	9,97E+09
4R2	8,67E+10	8,68E+09

Tabulka č. 3.22: Hodnoty SE bariérových nánosů

vzorek	P1 [mW/m ²]	P2 [mW/m ²]	SE [dB]	SE [%]
4A2	7,1	6,7	0,25	5,63
4B2	7,3	6,8	0,31	6,85
4C2	7,3	6,9	0,24	5,48
4D2	17,4	6	4,62	65,52
4E2	16,3	8	3,09	50,92
4F2	16,1	10,5	1,86	34,78
4G2	16,2	14	0,63	13,58
4H2	16,3	13,5	0,82	17,18
4I2	15,7	9,9	2,00	36,94
4J2	16,7	8,5	2,93	49,10
4K2	15,4	9,5	2,1	38,31
4L2	15,2	9,1	2,23	40,13
4M2	15	6,4	3,7	57,33
4N2	15,2	8,7	2,42	42,76
4O2	15,2	8,2	2,68	46,05
4P2	15,4	3,9	5,97	74,68
4Q2	15	3,8	5,96	74,67
4R2	15,1	2,5	7,81	83,44

Na obrázku č. 3.12 je znázorněn graf porovnávající všechny připravené a proměřené bariérové nánosy. V grafu jsou jednotlivé hodnoty řazeny dle koncentračních

řad, tzn., že první sloupec vykresluje nejnižší koncentraci dané suspenze na materiálu, viz tabulky označující připravené vzorky.



Obrázek č. 3.12: Graf porovnání bariérových nánosů na SE

Diskuze výsledků:

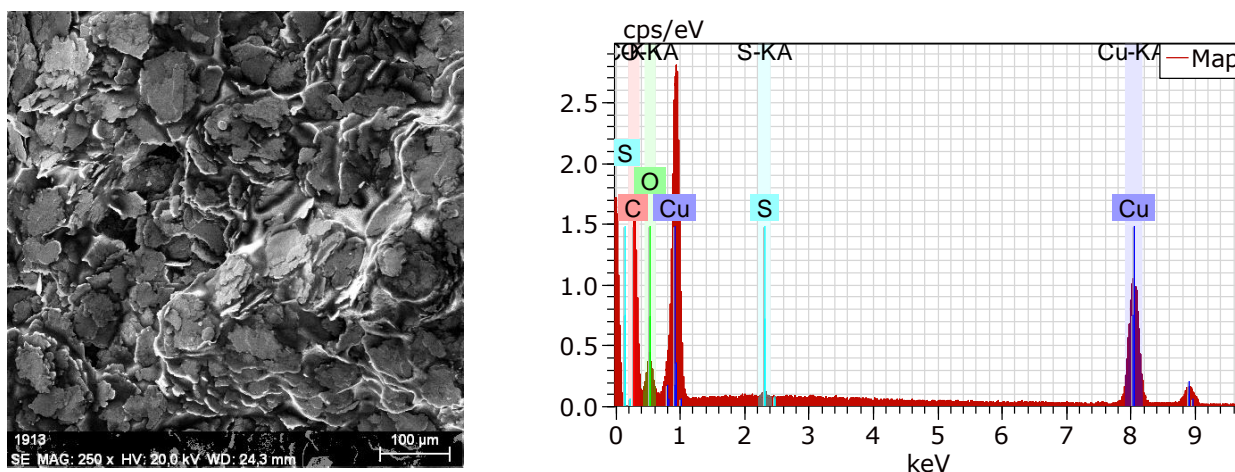
Druhou cestou v rámci povrchové modifikace vlákenné struktury materiálu byla příprava bariérového nánosu na nosnou textilií. Pro tuto aplikaci bylo použito několik typů suspenzí obsahující kovové nebo uhlíkové částice s cílem zvýšit elektrickou vodivost materiálu a tím napomoci stínění EMS.

Manipulace s nánosovými suspenzemi nebyla vždy snadná, částice se ve většině případů shlukovaly a tvořily na textilií hrudky, které bránily rovnoměrnému nánosu, což způsobilo i jisté rozdíly v tloušťce nanesené vrstvy. Konkrétně se jednalo o vzorky opatřené hliníkovou vrstvou AQUAPOR a vrstvou s obsahem mědi, kdy při větším množství nánosu se suspenze špatně roztírala a aplikace tak byla velmi obtížná.

Na obrázku č. 3.12 jsou porovnány všechny připravené bariérové nánosy ve schopnosti stínění. Prvními vyrobenými vzorky byly vzorky s nánosem železa. Výsledky mě-

ření nedopadly dle očekávání. Rozložení částeczek železa nebylo pravděpodobně i přes dokonalé rozmíchání rovnoměrné (tendence k tvorbě drobných shluků v suspenzi), aby byl nános schopen elektrického vedení a schopnosti stínit. Vzorky byly připraveny ve třech koncentracích, ani jedna však neprokázala schopnosti efektivního stínění, dosažené hodnoty SE se pohybovaly kolem 7%.

Další variantou byly vzorky opatřené vrstvou obsahující měděný prášek. Nejprve byly připraveny 3 vzorky o třech koncentracích (400g, 600g a 800g). Tyto vzorky byly proměřeny a výsledky byly opět překvapivé. Měď, co se SE hodnot týká, sice vykazala lepší výsledky než železo, ovšem s tím ukazatelem, že čím více kovu se na materiál nanese, tím horší bylo výsledné stínění. Obrázek č. 3.13 demonstruje nános mědi při nejvyšší koncentraci kovu. Je viditelné, že jednotlivé částice kovu se spíše překrývají, než dotýkají, tím netvoří spojitou vrstvu a zřejmě je to důvod, proč není materiál elektricky vodivý a tím nemá schopnost dostatečně stínit EMS.



Obrázek č. 3.13: Mikroskopová analýza vzorku bariérové textilie s nánosem mědi

Na základě výsledků byly připraveny další dva vzorky s nižší koncentrací mědi v suspenzi. Obecně je měď výborný stínící prostředek (viz bod 3.3). V tomto případě však nejlepšího výsledku bylo dosaženo u vzorku 4D2, kdy hodnota SE dosahuje 65%, což ovšem není nijak excelentní hodnota.

Dalším použitým materiálem byl roztok obsahující uhlík ve formě grafitu. Příprava vzorků byla náročná kvůli práci se samotným grafitem. První pokusy se nezdařily, připravená suspenze silně zhoustla a vytvořila hrudky, tudíž se s vyšším množstvím grafitu situace dále výrazně zhoršila, adheze na textilní materiál byla velmi nízká, proto bylo od pokusů aplikovat tento produkt odstoupeno. Na základě těchto negativních zkušeností jako další možnost, jak dostat grafit jako bariéru na nosný materiál, bylo použít grafit v tekuté formě (THOMSIT R 762). Aplikace na materiál byla snazší, problémem by ale v praxi mohl být fakt, že grafit v této formě způsobuje silné znečištění všech povrchů, se kterými se dostane do kontaktu. Navíc naměřené hodnoty nejsou nijak výborné, hodnota SE dosáhla při vyšší koncentraci grafitu necelých 50%.

Hliníkových bariér bylo docíleno pomocí dvou past obsahujících hliník a to AQUAMET WPO a AQUAPOR 4213. Suspenze s obsahem past se lišily na pohled už při jejich přípravě, nejvíce však po fixaci na materiál, kdy suspenze obsahující AQUAMET WPO byla na pohled hladká a tvořila spojitou rovnoměrnou vrstvu, dobře se nanášela. Druhá směs byla hrudkovitá, hůře se nanášela a po fixaci vytvářela velmi hrubý povrch.

Přesto, že hliník patří také mezi výborné elektrické vodiče, měření elektrických vlastností bylo velmi obtížné, prvních 6 vzorků nebylo možné změřit vůbec, přístroj shledal nánosovou vrstvu nevodivou, vzorky č. 4Q2 a 4R2 již změřitelné byly. Jejich hodnota se však stále pohybuje velmi vysoko, v jednotkách $M\Omega$, což rozhodně není výsledek hodný vyzdvižení. Zřejmě je to způsobeno velmi nerovnoměrnou vrstvou nánosů na netkané textilie. Samotné hodnoty SE u některých vzorků již tak špatné nejsou. Nejvyšší dosažení hodnoty stínění má vzorek 4R2, ty dosahují až 83%, což je číslo vysoké vzhledem k ostatním naměřeným hodnotám. Nejhorší dopadl vzorek 4K2, který dosáhl v efektivnosti stínění pouhých 38%. Obecně můžeme tento experiment shrnout tak, že lepší stínicí efekt má hliníková pasta s názvem AQUAMET, která se i lépe aplikovala a umožnila tvorbu relativně velmi rovnoměrné vrstvy nánosů.

Povrchová modifikace vlákenné vrstvy nánosem různých suspenzí na nosný materiál se dá souhrnně shrnout jako aplikace realizovatelná v praktickém měřítku. Nicméně zvolit správnou suspenzi není zdaleka tak jednoduché. Všechny pokusy v tomto směru vykonané jistě přinesly řadu informací a výsledků. Na jejich základě se

dá říci, že samotné aplikace nánosů byly v mnoha případech náročné, suspenze při větším množství na materiálu nebylo možné rovnoměrně rozprostřít, při nízké koncentraci a množství bylo naopak obtížné dostat vlastní suspenzi na co největší plochu pro nátěr připravenou (rychlé zasáknutí suspenze do textilie). Aplikace s vysokými nánosy nepřinesly očekávané výrazné zvýšení hodnot SE. Dále tyto vysoké nánosy již významně zhoršují měkkost a ohebnost textilního materiálu. Rovněž soudržnost nanesené vrstvy s vlastní textilií je zhoršena.

Jako nejlepší z ověřovaných produktů lze označit AQUAMET WP. Obecně ale na základě dosažených výsledků nelze bariérové nánosy hodnotit jako příliš efektivní řešení problému stínění EMS.

3.5 Mřížkové a sendvičové systémy

Princip řešení:

Princip řešení spočívá v přípravě elektricky vodivých mřížkových struktur, případně struktur složených z několika vrstev (tzv. sendvičů) a ověření jejich vlastností na stínění EMS. Snaha připravit vhodný typ mřížky je vedena především materiálovou úsporou v případě její funkčnosti. U složených vrstevnatých materiálů pak ověřením jedné z možností praktické realizovatelnosti takových konstrukcí v JUTA a.s.

Příprava vzorků:

K přípravě mřížek byly zvoleny tyto dva postupy. Jedním z nich je použití kovových folií, které byly vybrány na základě výsledků měření z bodu 3.3, a to tak, že z kovové folie byly nastříhány proužky a ty pak byly připevněny na nosný materiál. Druhým postupem je aplikace kovových suspenzí a grafitu (produkt THOMIST R 762) viz bod 3.4.2 na tkanou mřížku, kterou vyrábí společnost JUTA a.s. pod názvem VeBe. Jedná se o řídkou tkaninu, kdy osnova je tvořena polyesterovou přízí, útek perlinkou z polypropylenových pásek. Takto připravené vzorky se podrobily měření elektrických vlastností a efektivity stínění.

Mřížky z folií:

Příprava vzorků obsahující kovové pásky (folie 3K) byla následující. Pásky o šířce 10mm (zvoleno pro lepší manipulaci s jednotlivými pásky z důvodu křehkosti fo-

lie) byly přilepeny na nosný materiál, v našem případě na papír (vzhledem k neschopnosti papíru stínit EMS) v různých vzdálenostech pro stanovení vlivu rozteče mřížky na vlastní stínění. Rozteče pásků byly zvoleny 10mm, 15mm a 20mm (určeno na základě konzultací o již provedených měřeních). Velikost vzorků odpovídá velikosti A5 (210x150mm). Mřížky vyrobené z pásků nejsou tak doslova mřížkami, protože byly měřeny pouze jako pásy uložené vedle sebe a to ve dvou směrech orientace pásků (vodorovně a svisle) vzhledem ke zdroji záření. Takový způsob přípravy souvisí i s jednou z potenciálních možností výroby právě takových konstrukcí v podmínkách JUTA a.s.

Mřížky tkané:

Příprava tkaných mřížek schopných stínit EMS spočívala v nanesení, usušení a tepelné fixaci suspenze obsahující vodivé částice (příprava suspenzí viz bod 3.4.2) v určitém množství na textilní materiál (VeBe). Velikost připravovaných vzorků je cca 210x290mm.

Přípravy tzv. sendvičů jsou rozděleny také na dva postupy, a to na sendviče lepené a sendviče vpichované.

Sendviče lepené:

Prvním postupem je vytvoření sendviče pomocí kovové folie vybrané na základě výsledků měření z bodu 3.3, a netkané textilie, kdy tyto dva materiály budou zpevněny pouze slepením. Tímto způsobem byly připraveny 3 vzorky, kdy se mění pozice kovové folie vůči zdroji elektromagnetického záření. Vzorky tzv. sendvičů skládající se z folie a netkané textilie byly připravovány na základě výsledků předchozích měření. Vhodnou kovovou folií byl zvolen vzorek 3H pro své stínící účinky a posléze i cenu, vhodnou nosnou textilií byl vzorek 1H2. Tato textilie byla použita i v některých předchozích měřeních. Velikost vzorků odpovídala opět velikosti A4. Kombinace folie 3H a netkané textilie (dále jen NT) 1H2 spojeného pouze slepením je možné rozdělit do tří typů v rámci umístění folie vůči zdroji vyzařování – folie/NT, NT/folie, NT/folie/NT. Výroba sendvičových vzorků spočívala v upevnění kovové folie k nosnému materiálu bodovým přilepením (v sériové výrobě laminace). Při zjišťování hodnot SE byly vzorky orientovány tak, aby byly proměřeny všechny varianty umístění folie.

Sendviče vpichované:

Druhým postupem je pak opět použití kovové folie a netkané textilie se změnou zpevnění a pozici folie. V tomto případě je kovová folie 3K umístěna mezi dvě netkané textilie 1F2 a celá struktura je zpevněna mechanicky na vpichovací jednotce. Alobalová folie byla vložena mezi dvě NT a takto připravený polotovár byl předložen vpichovací jednotce, kdy pomocí ostatních jehel došlo k provázání obou netkaných textilií. Je tak docíleno zabránění posunu kovové folie mezi textiliemi.

Označení vzorků:

Tabulka č. 3.23: Označení vzorků VI – mřížky z folií

vzorek	rozteč	orientace pásků
5A	1cm	==
5B	1cm	
5C	1,5cm	==
5D	1,5cm	
5E	2cm	==
5F	2cm	

Tabulka č. 3.24: Označení vzorků VII – mřížky tkané

vzorek	nános
5G	AQUAMET WPO/3200/65
5H	CuTEC 50
5I	THOMSIT R 762

Tabulka č. 3.25: Označení vzorků VIII - sendviče

vzorek	schéma	
5J	3H/1H2	folie/netkaná textilie - lepený
5K	1H2/ 3H	netkaná textilie/folie - lepený
5L	1H2/3H /1H2	netkaná textilie/folie/netkaná textilie - lepený
5M	1F2/3K /1F2	netkaná textilie/alobal/netkaná textilie - vpichovaný

Popis práce:

Mřížky z folií

Příprava vzorků obsahující kovové pásy (folie 3K) byla následující. Pásy o šířce 10mm byly přilepeny na nosný materiál (papír) v různých vzdálenostech pro lepší demonstraci rozdílů ve stínění (10mm, 15mm a 20mm). Vzdálenost pásků byla volena na základě konzultace o předchozích měřeních. Takto připravené vzorky byly podrobeny dvěma měřeními SE. Nejprve byly proměřeny vzorky s pásy umístěnými svisle, poté vodorovně. Důvodem bylo zjištění, zda má orientace pásků vliv na efektivitu stínění. Elektrické vlastnosti u těchto vzorků nebyly zjišťovány z důvodu obtížné měřitelnosti.

Mřížky tkané

Na tkanou mřížku z JUTA a.s – název VeBe byly nanášeny vytipované suspenze obsahující kovové částice a grafit. Jednalo se o shodné chemikálie použité při přípravě bariérových textilií, tzn. CuTEC 50, AQUAMET WPO/3200/65 a THOMSIT R 762. Shodný byl i poměr chemikálií a příprava (viz bod 3.4.2 Bariérové nánosy). Vlastní nános byl proveden pomocí molitanového válečku s nánosem suspenze na upevněný vzorek tkané mřížky postupně z obou stran. Takto připravený vzorek mřížky byl usušen a fixován v laboratorním sušícím a fixačním rámu při teplotě 150°C po dobu 5 min. K určení množství suspenze na mřížce bylo nutné zjistit suchý přívažek (viz kapitola 3.4.1 výpočet přívažku).

Použité chemikálie:

PLEXTOL DV 370,

LUTEXAL THICKENER HIT PLUS,

THOMSIT R 762,

CuTEC 50,

AQUAMET WPO/3200/65.

Použité stroje:

sušící a fixační rám.

Výpočet přivažku:

Přivažek v [%] se vypočítá dle vztahu (12), viz strana 71. Z tabulky č. 3.26 vyplývá, že měděný nános je těžký, hmotnost materiálu vzrostla o 67%.

Tabulka č. 3.26: Výpočet přivažku mřížkových systémů

vzorek	přivažek [%]
5G	52
5H	67
5I	18

Takto připravené vzorky byly podrobeny měření SE. Elektrické vlastnosti u těchto vzorků nebyly zjišťovány z důvodu obtížné měřitelnosti.

Sendvičové systémy:

Vzorky vyrobených sendvičových systémů (lepené, vpichované) – viz příprava vzorků, byly proměřeny na elektrické vlastnosti a účinnost stínění EMS.

Použité stroje:

jehlovací stroj.

Výsledky měření:

Elektrické vlastnosti byly zjišťovány pouze u mřížkových systémů, konkrétně u vzorků 5G – 5I, hodnoty jsou zaznamenány v tabulce č. 3. 27. Hodnoty SE mřížkových systémů a hodnoty sendvičových systémů jsou pak shrnuty v tabulkách č. 3.28, 3.29 a 3.30.

Tabulka č. 3.27: Elektrické vlastnosti – mřížky tkané

vzorek	ρ_s [Ω]	R_s [Ω]
5G	1,08E+10	1,08E+09
5H	5,61E+10	5,62E+09
5I	2,24E+04	2,24E+03

Tabulka č. 3.28: Hodnoty SE – mřížky z folií

vzorek	P_1 [mW/m ²]	P_2 [mW/m ²]	SE [dB]	SE [%]
5A	15,5	14	0,44	9,68
5B	15,4	0,01	31,88	99,94
5C	15	14	0,29	6,67
5D	15,1	0,06	24,00	99,60
5E	15,4	14	0,41	9,09
5F	15	0,57	14,20	96,2

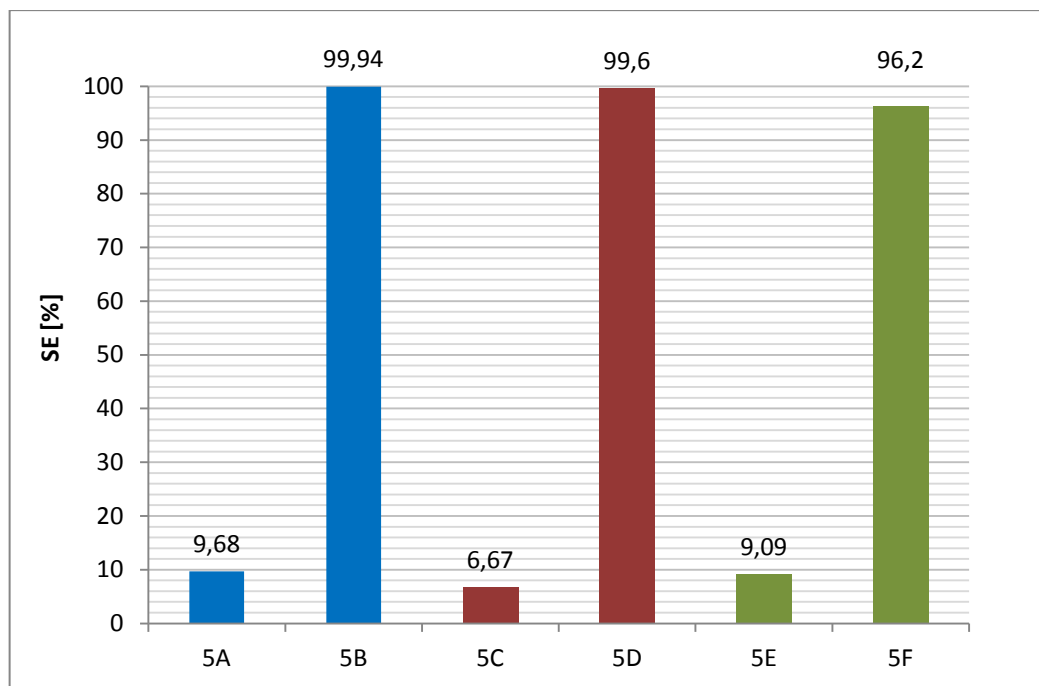
Tabulka č. 3.29: Hodnoty SE – mřížky tkané

vzorek	P_1 [mW/m ²]	P_2 [mW/m ²]	SE [dB]	SE [%]
5G	15	11,7	1,08	22
5H	15,7	14,9	0,23	5,09
5I	15,4	14	0,41	9,09

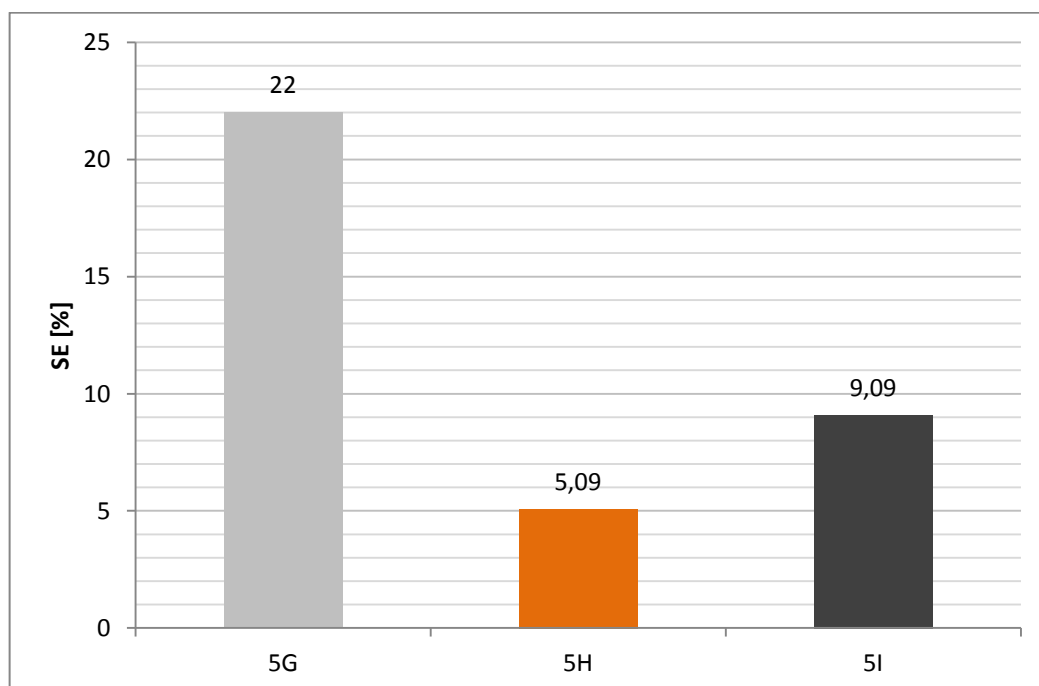
Tabulka č. 3.30: Hodnoty SE - sendviče

vzorek	P_1 [mW/m ²]	P_2 [mW/m ²]	SE [dB]	SE [%]
5J	15,8	0,002	38,98	99,99
5K	15,2	0,7	13,37	95,39
5L	15	0,01	31,76	99,93
5M	14,8	6	3,92	59,46

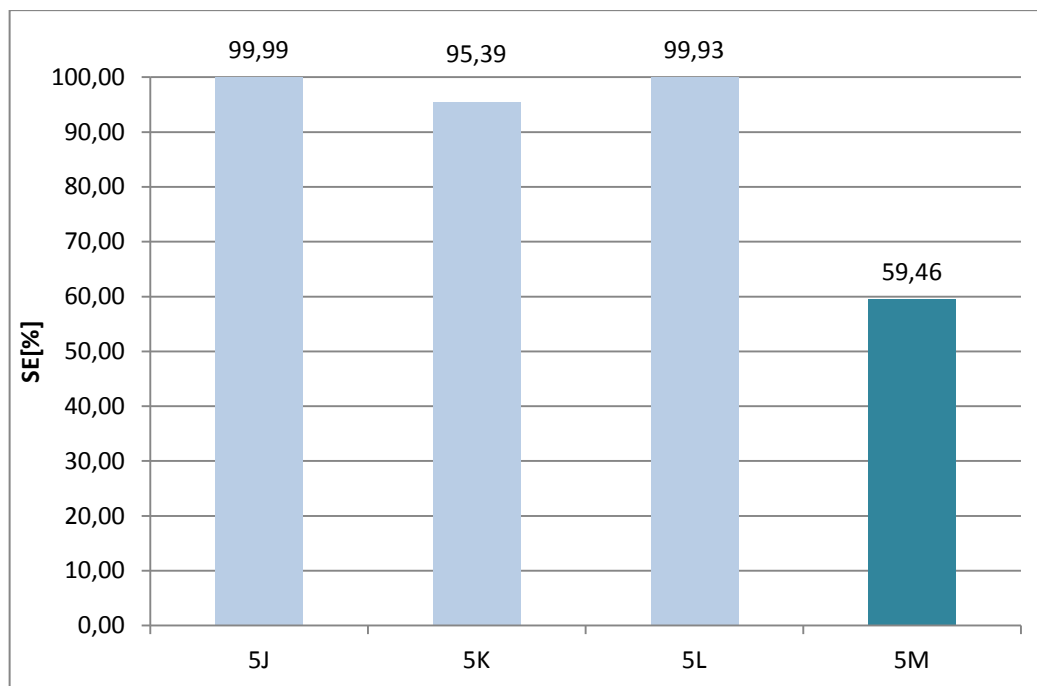
Graficky znázorněné hodnoty SE mřížek z kovových folií, mřížek tkaných a sendvičů jsou zaznamenány na obrázcích č. 3.14, 3.15 a 3.16.



Obrázek č. 3.14: Vliv orientace kovových pásků (mřížky z folií) na SE



Obrázek č. 3.15: Graf vlivu tkaných mřížek s nánosy na SE



Obrázek č. 3.16: Graf vlivu sendvičů na SE

Diskuze výsledků:

Příprava mřížkových systémů byla rozdělena na dvě metody, jedna metoda spočívala v nanesení kovových suspenzí na předem tkané mřížky, druhá v upevnění pásků z kovové folie na nosný materiál v různých roztečích.

Mřížkové systémy připravené z pásků byly proměřeny pouze v rámci stínění, elektrické vlastnosti takovýchto vzorků jsou obtížně změřitelné. Vzorky byly připraveny pouze v podobě „páskové“, viz výše a takto byly také měřeny. Nejprve ve směru svislém, kdy výsledky měření zaznamenané v tabulce č. 3.28 jsou důkazem toho, že účinnost stínění je výborná, poté ve směru vodorovném, kdy výsledky již tak dobré nejsou. Příčinou toho je schopnost vln projít mezi pásy. Pokud by se však vytvořila mřížka, výsledky by byly opět velmi dobré. V tomto případě co se použití v praxi týče, je důležité nasměrování antén tak, aby k průniku vln nedocházelo. Pokud však pásy budou uspořádány v mřížku, směr zdroje vyzařování nebude důležitý. Hodnoty stínění se liší na základě rozteče pásků. Vzorek 5B (vzdálenost 10mm) vykazuje hodnoty stínění téměř 100%, stejně tak vzorek 5D, kdy schopnost stínění klesla v řádu desetin %. Nejhorší dopadl vzorek 5F, kdy vzdálenost mezi vzorky byla 20mm. Hodnota SE je

„pouhých“ 96%. Obecně lze ale říci, že pomocí systému kovové folie v kombinaci s netkanou textilií lze dosáhnout vysokých hodnot stínění.

Co se týče výsledků tkaných mřížek opatřených vodivou suspenzí, vyplývá z hodnot uvedených v tabulce č. 3.29, že z těchto tří vzorků vychází nejlépe vzorek 5I, který je opatřen grafitem. Hodnoty SE s tímto však plně nekorespondují, vzorek 5I je schopen odstínit pouze 9% záření. Za to vzorek 5G s nánosem mědi odstíní 22% záření. Výsledné hodnoty všech těchto vzorků jsou však velmi nízké, tato cesta rozhodně nevede k tvorbě efektivních typů materiálů na stínění EMS.

Tzv. sendviče byly rozděleny do dvou skupin na lepené a vpichované. Žádný z takto připravených vzorků nebyl podroben měření elektrických vlastností kvůli neschopnosti je změřit, proto byly zjišťovány pouze hodnoty SE, u lepených vzorků v rámci změn orientace kovové folie vůči zdroji elektromagnetického záření, u vzorku vpichovaného byla kovová folie umístěna mezi NT. Hodnoty graficky znázorněné v grafech říkají, že kovová folie je jako stínící prostředek EMS ideální, lze říci, že ani orientace a umístění folie vůči zdroji nemá vliv na stínění. Hodnoty vzorků 5J a 5L dosahují téměř 100%, vzorek 5K hodnoty kolem 95%. Nepatrný pokles je zřejmě způsoben průchodem elektromagnetické vlny kolem kovové folie (zhoršené podmínky měření).

Dle výsledků z kapitoly 3.3 je kovová folie považována za ideální předmět stínění EMS, ale pouze tehdy, dokud nedojde k jejímu porušení, čehož je důkazem vzorek 5M. Hodnoty SE toho vzorku klesly oproti sendvičům lepeným o 40%. Kovová folie je mezi NT jehlami v podstatě rozdrčena a při častější manipulaci se sendvičem dochází k odpadávání kousků folie, tudíž zde mohou vznikat místa bez folie a průniku vln tak není zabráněno. Řešením toho problému by zřejmě bylo nastavení větší vzdálenosti jehel jehlovacího stroje nebo upravení hloubky vpichu jehel do materiálu (folie by nebyla tak namáhána).

4 Souhrnná diskuze výsledků

Vlastní řešení experimentální práce bylo rozděleno do několika na sebe navazujících bodů. Nejprve bylo potřeba posoudit základní textilní konstrukce (povětšinou netkané materiály vyrobené vpichovou technologií) vyráběné společností JUTA a.s. s cílem stanovit jejich vlastnosti a možný vliv na vlastní stínění EMS. Na základě těchto posouzení pak bylo třeba vytipovat optimální textilií, jako základ pro vyvíjený typ výrobku – tj. netkanou textilií s vysokým potenciálem pro stínění EMS. Toto bylo obsahem bodu 3.1. Nejprve byl posuzován vliv vlastní vlákenné suroviny dostupné a používané ve společnosti JUTA a.s. Na základě výsledků byl jako nejvhodnější typ vybrán polyesterový materiál (viz bod 3.1.1). Dále byl posuzován vliv konstrukce vlastní textilie (dáno převážně technologií výroby vlastní textilie) a její tloušťky. Co se týče vlivu konstrukce textilie na schopnost stínění EMS, bylo prokázáno, že vliv tohoto parametru není podstatný. Zároveň zde bylo zjištěno, že hodnocené netkané materiály vykazují poměrně velkou nerovnoměrnost, což samozřejmě způsobuje i určitý rozptyl naměřených hodnot, se kterým je třeba počítat i v rámci hodnocení všech dosažených výsledků v dalších částech práce. Vlastní tloušťka netkaného materiálu po vyhodnocení získaných výsledků měření hraje určitou roli. Výsledky ukazují na trend zvýšení schopnosti SE s nárůstem tloušťky materiálu (viz bod 3.1.2). Přesto jsou rozdíly v dosažených hodnotách stínění v řádu několika procent z pohledu dosažení efektivního řešení problému z praktického hlediska nevýznamné. Závěrem této části bylo tedy vytipování polyesterové netkané textilie jako základního textilního materiálu pro další fáze práce. Zároveň bylo ověřeno, že vliv konstrukce a tloušťky textilního materiálu nehraje podstatnou roli z hlediska dosažené SE.

Na základě provedené rešerše bylo zvoleno několik postupů, jejichž řešení by mělo k textilií s vysokým odstíněním EMS. V principu se jedná o postupy zabezpečující výrazné zvýšení elektrické vodivosti původní textilie, jako základního předpokladu pro vznik možnosti efektivního stínění EMS tímto materiálem. Prvním ověřovaným byla příprava netkaných textilií ze směsí klasických (nevodivých) vláken s vlákny vodivými (bod 3.2). K tomuto byly vytipovány a použity dva typy komerčně dostupných elektricky vodivých vláken, a to vlákna s obsahem sulfidu stříbra a mědi (EUROPA) a vlákna nerezová (BEKINOX). Než byla zahájena výroba vlastních netkaných textilií v poloprovozních laboratořích Katedry netkaných textilií, byla nejprve vodivá vlákna

proměřena samostatně (viz bod 3.2). Hodnoty SE samostatných vláken jsou znázorněny na obrázku č. 3.7. Jako nejlepší bylo vyhodnoceno vlákno BEKINOX. Poté byly připraveny varianty směsí s různým obsahem vodivých vláken ve směsi, a to: 9%, 14% a 20%. V rámci tohoto bodu byla proměřena i netkaná textilie z modakrylového vlákna, kterou JUTA a.s. již vyrábí pro jiné účely. Dle výsledků měření SE bylo zjištěno, že netkaná textilie z modakrylových vláken je jako stínící prostředek nevhodná. Dále pak bylo zjištěno, že obsah vláken EUROPA ve směsi s polyesterovými vlákny sice vykazuje hodnoty SE kolem 92% v 20% směsi, přesto je to oproti vláknům BEKINOX hodnota nižší, protože vlákna nerezová v 20% směsi dosáhly hodnot stínění 95%, viz obrázek č. 3.8. V rámci těchto pokusů byla zjišťována hodnota SE také u textilní tapety vyrobené z vláken EUROPA, která byla dodána spolu s vlákny. V tomto případě se jednalo pouze o orientační měření. Hodnoty SE textilní tapety se pohybovaly kolem 85%. Shrňme-li tento bod práce, lze říci, že směsování klasických nevodivých vláken s vlákny vodivými ovlivňuje schopnosti textilního materiálu stínit EMS s tím předpokladem, že se tato schopnost bude zvyšovat s rostoucím obsahem vodivých vláken ve směsi.

Kov, jak je obecně známo, je výborný elektrický vodič, proto použití kovových folií bylo další metodou, jak zvýšit elektrickou vodivost textilního materiálu a tím i schopnost stínění EMS (viz bod 3.3). K tomuto účelu byly vybrány folie různých dodavatelů, kdy nejčastěji použitým kovem byly hliník a měď. Dodané folie byly vyrobeny také z feritu a uhlíku. Na základě proměření jednotlivých folií byly vybrány dvě, obě hliníkové 3H a 3K, které byly následně použity k dalším aplikacím (kovová mřížka, sendviče). Výborných hodnot stínění dosahovala většina kovových folií – téměř 100%, kromě folie obsahující ferit, kdy hodnota SE dosahovala 36%. Výsledné stanovisko o výběru folií z hliníku bylo provedeno jednak na základě dobrých výsledků stínění a dále pak předpokladu nižší ceny v porovnání s foliemi na bázi mědi.

Povrchová modifikace vlákenné struktury (viz bod 3.4) byla dalším pokusem, jak zvýšit elektrickou vodivost netkaných textilií z normálních vláken a tím dosáhnout schopnosti stínění textilií. Vybrány byly dva typy modifikace vlákenné struktury – impregnace vodivých částecek do materiálu (viz bod 3.4.1) a úprava pomocí jednostranných nánosů (bariérové nánosy) suspenzí obsahujících vodivé částičky (viz bod 3.4.2). Impregnací vodivých částic, konkrétně stříbra, mědi ve formě nanočástic a uhlíku ve formě disperze na bázi grafitu mělo dojít ke zvýšení elektrické vodivosti základního

materiálu. Ovšem obsah nanočástic kovů v roztocích ze získaných produktů se ukázal jako velmi nízký, ve struktuře nedošlo ke styku jednotlivých částic a materiál se vodičným a schopným odstínit EMS nestal. Důkazem toho jsou obrázky č. 3.10 a 3.11. Modifikace impregnací uhlíku ve formě tekuté disperze obsahující částičky grafitu by se dala považovat za vodičnou a schopnou stínit EMS. Velkým problémem je však vysoká špinivost vlastního produktu při aplikaci a i dosažená hodnota stínění pohybující se kolem 77% i vzhledem k vysokému nánosu disperze nepředstavuje příliš efektivní řešení. Bariérové nánosy na netkané textilii z polyesterových vláken byly tvořeny suspenzemi obsahující kovové částice (měď, železo, hliník) a uhlík ve formě grafitu v různých poměrech vodičných částic v suspenzích. Příprava vzorků byla mnohdy velmi náročná, v případě grafitu dodaného v prášku nebylo možné suspenzi na nosný materiál nanést z důvodu tvorby hrudek, u tekuté disperze byly výsledky lepší. Opět tu ovšem nastal problém se špiněním. Navíc konečné výsledky této úpravy nebyly nijak uspokojivé, hodnoty SE se pohybovaly nejvýše kolem 49%. Suspenze obsahující měděné a železné částice byly nanášeny také s obtížemi, kovové částičky se shlukovaly a tvořily hrudky, které v konečné fázi bránily v proměření elektrických vlastností. Výsledné hodnoty SE opět nebyly nijak uspokojivé. U měděných suspenzí došlo k tomu, že s rostoucím obsahem mědi se snižovala schopnost stínění. Příčinou toho je zřejmě to, že s rostoucím počtem částíček rostl počet shluků a proto zde nedocházelo ke styku mezi jednotlivými částicemi v ploše. Důkazem toho je obrázek č. 3.13. Suspenze obsahující částice hliníku byly připraveny ze dvou odlišných základních hliníkových past (AGUAMET a AQUAPOR). V suspenzi připravené z pasty AQUAPOR se opět tvořily hrudky, aplikace byla obtížná, naproti tomu suspenze připravená z pasty AQUAMET byla snadno aplikovatelná, vhodná k použití v praxi. Výsledné hodnoty obou hliníkových suspenzí jsou v porovnání s ostatními o něco lepší, nejlépe dopadly vzorky opatřené hliníkovou suspenzí s obsahem hliníkové pasty AQUAMET, které činily cca 83% (viz obrázek č. 3.12). Přesto obecně dosažené hodnoty stínění u materiálů s povrchovou modifikací i vzhledem k náročnosti a problémům spojených s vlastní aplikací nedávají předpoklad pro efektivní řešení daného problému.

Posledním z vytipovaných postupů (viz bod 3.5), jak docílit zvýšení elektrické vodivosti a schopnosti odstínit EMS pomocí textilního materiálu z klasických nevodičových vláken, bylo využití proměřených kovových folií (viz bod 3.3) k výrobě mřížkových a

vrstvených (sendvičových) systémů. Dále bylo ověřováno použití suspenzí obsahujících vodivé částice (viz bod 3.4) k tvorbě nánosů na tkané mřížky vyráběné společností JUTA a.s. pod názvem VeBe. Připraveny byly mřížky z kovových folií s různou roztečí uložení pásků. Vzorky byly na efektivitu stínění měřeny dvakrát, nejprve byl směr pásků vodorovný vzhledem ke zdroji záření, poté svislý. Ve výsledných hodnotách jsou velké rozdíly (viz obrázek č. 3.14), kde ve směru vodorovném mají elektromagnetické vlny schopnost projít mezi jednotlivými pásky, kdežto ve směru svislém jsou vlny kovovými pásky odstíněny. Proto je v tomto případě nutné orientovat směr pásků vůči vysílačům záření. Pokud by byla vyrobena mřížka, směřování vysílačů (antén) by nebylo nutné. Jako optimální rozteč se ukázala vzdálenost pásků 1,5cm. Dosažené hodnoty stínění v optimálním směru dosahují hodnot SE cca 99%, což představuje výborné výsledky. Povrstvení tkané mřížky bylo provedeno suspenzemi obsahující měď, hliník a uhlík ve formě tekutého grafitu, které byly rovněž použity pro bariérové nánosy (viz bod 3.4.2). Výsledné hodnoty měření SE podobně jako v případě bariérových nánosů však nejsou nijak dobré, viz obrázek č. 3.15. Nejvyšší hodnota SE dosahovala 22% a to u vzorku s nánosem suspenze obsahující hliník, konkrétně pastu AQUAMET (viz bod 3.4.1), tedy výsledky lze jednoznačně (již podle předpokladu – viz bariérové nánosy) hodnotit jako špatné. Sendvičové systémy tvořené netkanou textilií z polyesterových vláken a kovové folie byly připravovány dvěma způsoby, lepením folie na NT a zpevňováním NT a folie vpichováním. Lepené vzorky byly připraveny celkem tři, kdy u jednotlivých vzorků docházelo ke změně orientace folie a netkané textilie vzhledem ke zdroji elektromagnetického záření. Všechny takto připravené vzorky dopadly výborně, hodnoty dosahují téměř 100%, viz obrázek č. 3.16. Problém nastal u vzorku sendviče zpevněného vpichováním (5M), kdy při zpevňování NT došlo kvůli křehkosti kovové folie k jejímu rozdrčení. Hodnoty SE se u toho vzorku pohybovaly pouze kolem 60%. Řešením by zřejmě mohlo být opatření při výrobě (např. snížení počtu vpichů nebo snížit hloubku vpichu). Ze získaných výsledků lze konstatovat, že princip tvorby mřížek na bázi pásků z kovové folie a sendvičové struktury s vloženou vrstvou kovové folie jsou řešením, která poskytují vysoké hodnoty stínění EMS.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyřešit problematiku odstínění elektromagnetického záření pomocí textilních materiálů. Práce byla vypracována pro společnost JUTA a.s. Dvůr Králové nad Labem, která se zabývá výrobou technických textilií a ráda by na trh uvedla nový výrobek schopný odstínit EMS. Důležitým požadavkem bylo zachování stávajícího strojního zařízení společnosti, proto je celá práce koncipována na jejich možnosti.

K řešení této problematiky bylo vytýčeno a laboratorně ověřeno několik postupů, jejichž cílem bylo primárně zvýšit elektrickou vodivost nevodivého textilního materiálu, konkrétně netkaných textilií vyráběných v JUTA a.s. z polyesterových, polypropylenových a celulózových vláken, a tím zvýšit schopnost materiálu odstínit EMS. Mezi tyto postupy patří použití vodivých vláken ve směsi s vlákny polyesterovými za vzniku netkaných textilií, povrchová modifikace vlákenné struktury impregnací roztoky či disperzemi obsahujícími vodivé částičky, tvorba bariérových nánosů na textilií, opět obsahující vodivé částice, použití kovových folií a to buď na výrobu mřížek, nebo vrstvených struktur, tzv. sendvičů a dále nanesení suspenzí s obsahem vodivých částic na tkanou mřížku.

Na základě výsledků provedených měření u jednotlivých variant bylo zjištěno, že absolutně nejlepší stínící efekt mají kovové folie. Jejich aplikace v rámci lepených sendvičů se zdá jako ideální pro praktické využití. Otázkou ale zůstává, kde konkrétně by byl sendvič použit, poněvadž kovové folie jako takové jsou neprodyšné. Zde musí společnost JUTA a.s. zvážit využitelnost. Druhým vhodným způsobem je pak vytvoření mřížkové struktury za pomoci kovových foliových pásků. Ideální vzdálenost pásků je 1,5cm. Je důležité ale počítat s tím, že nelze použít jen pásky (viz bod 3.5), rovněž technologická náročnost při vytvoření optimální konstrukce je třeba vzít v potaz. Na druhou stranu prodyšnost takové struktury zůstává ve velké míře zachována.

Jako další vhodné řešení je možno doporučit použití vodivých vláken, konkrétně ne-rezových, na trhu dostupných pod názvem BEKINOX. Na základě provedených pokusů a měření se jako vhodné jeví použití cca 20% obsah kovových vláken ve směsi s vlákny polyesterovými. Samozřejmostí je, že se zvyšujícím se obsahem vodivých vlá-

ken se zvyšuje i schopnost stínění. Zde je ovšem důležitá i otázka finanční. Vodivá vlákna jsou drahá, a pokud se zvýší jejich obsah ve směsi, zdraží se konečný produkt.

Metody povrchové modifikace vlákenné struktury neprokázaly významný vliv na schopnost stínění, navíc aplikace suspenzí byla v mnoha případech náročná. Tento směr je tedy na základě provedeného možno hodnotit jako málo efektivní.

Závěrem této práce je tedy doporučení společnosti JUTA a.s. v rámci řešení problematiky odstínění elektromagnetického záření použít kovových folií ve výše zmíněných variantách, případné použití vodivých vláken ve směsi s klasickými nevodivými vlákny k výrobě netkaných textilií. Na základě zhodnocení a výběru optimální varianty ze strany JUTA a.s. by následně měl být zahájen proces ověřování a optimalizace v měřítku zkoušek na vhodném výrobním zařízení.

Použitá literatura:

- [1] Bureš, J.: *James Clerk Maxwell*. ConVERTER [online]. 2002 [cit. 17.11.2011] Dostupné na Internetu <http://www.converter.cz/fyzici/maxwell.htm>
- [2] Raoof, S.: *Elektromagnetic waves*. Waves around us [online]. 2010 [cit. 14.3.2012] Dostupné na Internetu <http://shariqa.com/waves%20around%20us.htm>
- [3] GEETHA, S., et al. EMI shielding: *Methods and Materials* - A Review. Journal of applied polymer science. 2009, 2073-2086.
- [4] HAŇKA, L.: *Teorie elektromagnetického pole*. Praha: SNTL, 1982.
- [5] Jonášová, L.: *Fyzika mikrosvěta na vysoké a střední škole*. Brno: Masarykova univerzita, 2005.
- [6] Hubková, P.: *Textilie využitelné pro ochranu člověka před účinky elektromagnetického pole*. Liberec: Technická univerzita, 2010.
- [7] König, H.; Erlacher, P.: *Neviditelná hrozba? Elektromagnetická pole kolem nás*. Ostrava: HEL, 2001. ISBN 80-86167-15-1.
- [8] Vojtěch, L.; Hájek, J.: *Měření elektromagnetické stínící účinnosti planárních materiálů v pásmu 100kHz až 1,5GHz*. Elektromagnetická stínící účinnost (SE – Shielding efficiency) [on-line]. 2010 [cit. 6.3.2012] Dostupné na Internetu <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2010030006>
- [9] Hoffmann, K., Hudec, P.: *Vysokofrekvenční a mikrovlnná měření*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2009 ISBN 80-01-03442-9.
- [10] Kolektiv autorů: *Elektromagnetická kompatibilita technických systémů*. Encyklopedie EMC [on-line]. [cit. 25.10.2011] Dostupné na Internetu <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node5>
- [11] Kukliš, L.: *Elektrosmog – metla civilizace*. Gnosis9.net [on-line] 2006 [cit. 25.11.2011] Dostupné na Internetu <http://gnosis9.net/view.php?cislocclanku=2006050010>
- [12] Duquesne, S.; Magniez, C.; Camino, G. *Multifunctional Barriers for Flexible Structures*. Berlin : Springer-Verlag, 2007. 302 s. ISBN 0933-033X.
- [13] *Je Faradayova klec klecí smrti?* Fyzmatik [on-line] 2009 [cit. 14.11.2011] Dostupné na Internetu <http://fyzmatik.pise.cz/114-je-faradayova-klec-kleci-smrti.html>
- [14] *Ampérův zákon*. AmaPro – Internetové stránky určené pro studenty středních a vysokých odborných škol [on-line]. 2010 [cit. 14.11.2011] Dostupné na Internetu <http://amapro.cz/encyklopedie/skola/amperuv%20zakon.php>

- [15] *Gaussův zákon*. AmaPro – Internetové stránky určené pro studenty středních a vysokých odborných škol [on-line]. 2010 [cit. 14.11.2011] Dostupné na Internetu <http://amapro.cz/encyklopedie/skola/gaussuv%20zakon.php>
- [16] Novák, J.: *Elektromagnetické pole a zdravotní rizika (I)*. TZB – Info – stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [on-line]. 2004 [cit. 2.12.2011] Dostupné na Internetu <http://www.tzb-info.cz/1801-elektromagneticke-pole-a-zdravotni-rizika-i>
- [17] Vokáč, P.: *Co jste nevěděli o škodlivém záření a báli jste se zeptat*. Mobil.cz [on-line]. 2004 [cit. 20.2.2012] Dostupné na Internetu http://mobil.idnes.cz/mob_tech.aspx?t=mob_tech&c=A040902_5282809_mob_prakticky
- [18] *Tepelné snímání EMF mobilního telefonu*. CieAura [on-line]. 2010 [cit. 20.2.2012] Dostupné na Internetu http://www.cieaura.com/emf_cz.html#tab3
- [19] *Mobily a zdraví*. Telefonica [on-line]. [cit. 5.11.2011] Dostupné na Internetu http://www.telefonica.cz/nas-odpovedny-pristup/104148-mobily_a_zdravi.html
- [20] *ICNIRP Statement*. ICNIRP Publication [on-line]. 2009 [cit. 20.2.2012] Dostupné na Internetu <http://www.icnirp.org/documents/StatementEMF.pdf>
- [22] *Nariadení č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením*. TZB – Info – stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [on-line]. 2004 [cit. 8.12.2011] Dostupné na Internetu <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/narizeni-c-1-2008-sb-o-ochrane-zdravi-pred-neionizujicim-zarenim>
- [23] *Zákon č 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*. TZB – Info – stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [on-line]. 2004 [cit. 5.12.2011] Dostupné na Internetu <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-258-2000-sb-o-ochrane-verejneho-zdravi-a-o-zmene-nekterych-souvisejicich-zakonu>
- [24] Šafařová, V.: *Metody hodnocení textilií se zvýšenou vodivostí a odolností vůči elektromagnetickému záření*. Závěrečná zpráva. Liberec: Technická univerzita, 2010.
- [25] Šafařová, V.: *Textilní materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí*. Liberec: Technická univerzita, 2010.
- [26] BEKARERT: *Stainless steel fibers for shielding textiles - Bekinox ®* [on-line]. 2012 [cit. 20.2.2012] Dostupné na Internetu <http://www.bekaert.com/en/Product%20Catalog/Products/B/Stainless%20steel%20fibre%20for%20shielding%20textiles%20-%20Bekinox.aspx?Industry={F4EFD0BC-A1FB-4B5E-9923-B5241DCF01F7}&ProductCategory={2DDBEBF8-6AA8-4A2B-818F-E3712FFB524F}>

- [27] Kálal, J.; Mleziva, J.: *Základy makromolekulární chemie*. Praha: SNTL 1986.
- [28] Švestková, D.: *Stanovení koncentrace anhydridů kyselin v roubovaných PP viskozimetrickou titrací taveniny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2009
- [29] *PET: From Water Bottles to Polar Fleece, recycling in action!* Polymer Inovation. [on-line]. 2011 [cit. 25.3.2012] Dostupné na Internetu
<http://polymerinnovationblog.com/pet-from-water-bottles-to-polar-fleece-recycling-in-action/>
- [30] *Celulosa*. Leccos – celulosa [on-line]. [cit. 25.3.2012] Dostupné na Internetu
<http://leccos.com/index.php/clanky/celulosa>
- [31] Dembický, J. a kolektiv: *Zušlechťování textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-7372-321-7
- [32] Hluchý, M. a kolektiv: *Strojírenská technologie*. Scientia, spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství Praha. ISBN 80-7183-034-8

Seznam tabulek:

Tabulka č. 2.1: Příklady mobilních telefonů a jejich hodnota SAR	strana 27
Tabulka č. 2.2: Souhrn doporučených limitů ICNIRP. Uvedené hodnoty jsou expozice celého těla.	strana 29
Tabulka č. 2.3: Třída I – Profesionální použití	strana 39
Tabulka č. 2.4: Třída II – Obecné použití	strana 39
Tabulka č. 2.5: Porovnání vlastností kovů	strana 42
Tabulka č. 3.1: Chemické prostředky	strana 47
Tabulka č. 3.2: Označení vzorků I	strana 53
Tabulka č. 3.3: Statistické zpracování dat plošných hmotností I	strana 53
Tabulka č. 3.4: Elektrické vlastnosti materiálu.....	strana 54
Tabulka č. 3.5: Vliv materiálu na SE	strana 54
Tabulka č. 3.6: Označení vzorků II	strana 56
Tabulka č. 3.7: Statistické zpracování dat plošných hmotností II	strana 57
Tabulka č. 3.8: Vlastnosti neupravených vzorků, elektrické vlastnosti	strana 58
Tabulka č. 3.9: Hodnoty SE neupravených vzorků	strana 58
Tabulka č. 3.10: Označení vzorků III	strana 62
Tabulka č. 3.11: Elektrické vlastnosti PAC tapety a netkaných textilií z vodivých vláken	strana 63
Tabulka č. 3.12: Hodnoty SE PAC a BEKINOX vláken, PAC tapety a netkaných textilií	strana 63
Tabulka č. 3.13: Označení kovových folií.....	strana 66
Tabulka č. 3.14: Elektrické vlastnosti folií fy Kerafol (3A-3D) a Bachman Alutec (3E-3J).....	strana 67
Tabulka č. 3.15: Hodnoty SE kovových folií fy Kerafol (3A-3D) a Bachman Alutec (3E-3J)	strana 68
Tabulka č. 3.16: Označení vzorků IV.....	strana 71
Tabulka č. 3.17: Přívažky v [%] jednotlivých vzorků.....	strana 72
Tabulka č. 3.18: Elektrické vlastnosti impregnovaných vzorků.....	strana 72

Tabulka č. 3.19: Hodnoty SE impregnovaných vzorků.....	strana 72
Tabulka č. 3.20: Označení vzorků V.....	strana 77
Tabulka č. 3.21: Elektrické vlastnosti bariérových nánosů.....	strana 78
Tabulka č. 3.22: Hodnoty SE bariérových nánosů.....	strana 79
Tabulka č. 3.23: Označení vzorků VI.....	strana 85
Tabulka č. 3.24: Označení vzorků VII.....	strana 85
Tabulka č. 3.25: Označení vzorků VIII.....	strana 86
Tabulka č. 3.26: Výpočet přívažku mřížkových systémů	strana 87
Tabulka č. 3.27: Elektrické vlastnosti – mřížky tkané	strana 88
Tabulka č. 3.28: Hodnoty SE – mřížky z folií	strana 88
Tabulka č. 2.29: Hodnoty SE – mřížky tkané	strana 88
Tabulka č. 3.30: Hodnoty SE – sendviče	strana 88

Seznam obrázků:

Obrázek č. 2.1: Elektromagnetické vlnění	strana 10
Obrázek č. 2.2: Elektromagnetické spektrum	strana 13
Obrázek č. 2.3: Dopad vlnění na překážku	strana 15
Obrázek č. 2.4: Základní řetězec EMC	strana 18
Obrázek č. 2.5: Vyzařování mobilního vysílače	strana 22
Obrázek č. 2.6: Pronikání složek elektromagnetického pole lidským tělem	strana 24
Obrázek č. 2.7: Snímek hlavy před použitím mobilního telefonu	strana 25
Obrázek č. 2.8: Snímek hlavy při používání mobilního telefonu	strana 26
Obrázek č. 2.9: Princip měření efektivity stínění metodou stíněné schránky	strana 31
Obrázek č. 2.10: Princip měření efektivity stínění koaxiální metodou	strana 32
Obrázek č. 2.11: Vlnovod používaný na TUL	strana 34
Obrázek č. 2.12: Schéma přístroje měřícího elektrický odpor a rezistivitu	strana 37
Obrázek č. 2.13.: Rozdělení materiálů podle jejich elektrické vodivosti	strana 38

Obrázek č. 2.14 Vlákná Bekinox	strana 41
Obrázek č. 3.1: Impregnační technologie. Schéma fuláru	strana 48
Obrázek č. 3.2: Strukturní vzorec molekuly polypropylenu.....	strana 50
Obrázek č. 3.3:Strukturní vzorec molekuly polyethylentereftalátu (PET).....	strana 51
Obrázek č. 3.4: Strukturní vzorec molekuly celulózy	strana 51
Obrázek č. 3.5:Graf vlivu materiálu na SE	strana 54
Obrázek č. 3.6: Graf vlivu tloušťky a konstrukce na SE	strana 59
Obrázek č. 3.7: Graf vlivu vodivých vláken a tapety PAC (2G) na SE	strana 64
Obrázek č. 3.8: Graf vlivu netkaných textilií z vodivých vláken na SE.....	strana 64
Obrázek č. 3.9: Graf porovnávající vliv kovových folií na SE.....	strana 68
Obrázek č. 3.10: Graf vlivu obsahu nanočástic kovů a grafitu na SE	strana 73
Obrázek č. 3.11: Mikroskopová analýza vzorku impregnovaného stříbrem.....	strana 74
Obrázek č. 3.12: Graf porovnání bariérových nánosů na SE.....	strana 80
Obrázek č. 3.13: Mikroskopová analýza vzorku bariérové textilie s nánosem mě- di.....	strana 81
Obrázek č. 3.14: Graf vlivu kovových pásků (mřížky z folií) na SE.....	strana 89
Obrázek č. 3.15: Graf vlivu tkaných mřížek s nánosy na SE	strana 89
Obrázek č. 3.16: Graf vlivu sendvičů na SE	strana 90

Přílohy:

I. Vzorník vstupních netkaných materiálů (3.1.1)

1A1	1B1	1C1

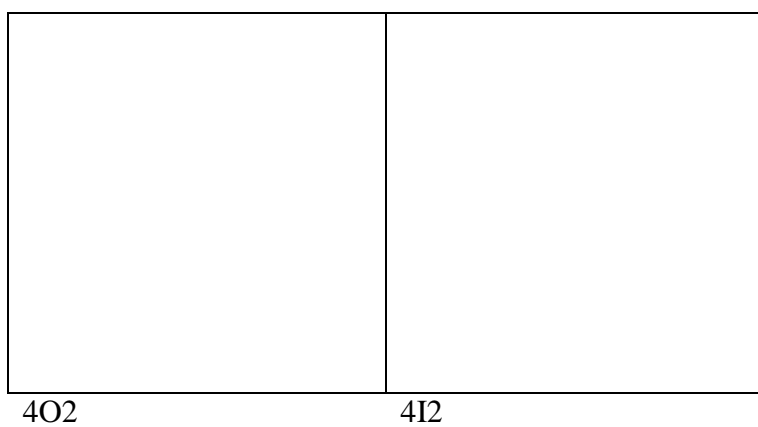
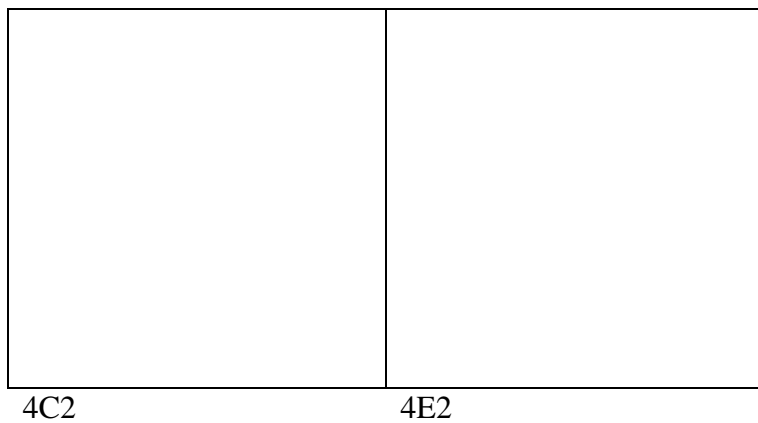
II. Vzorník netkaných textilií TUL (3.2)

2K	2N

III. Vzorník kovových folií (3.3)

3C	3H	3I

IV. Vzorník bariérových nánosů (3.)



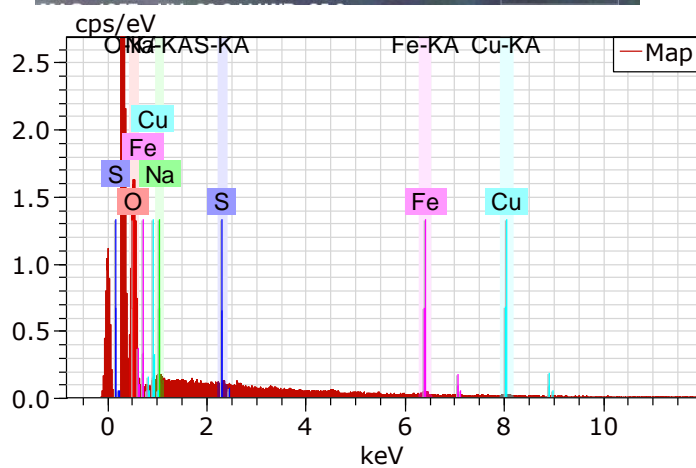
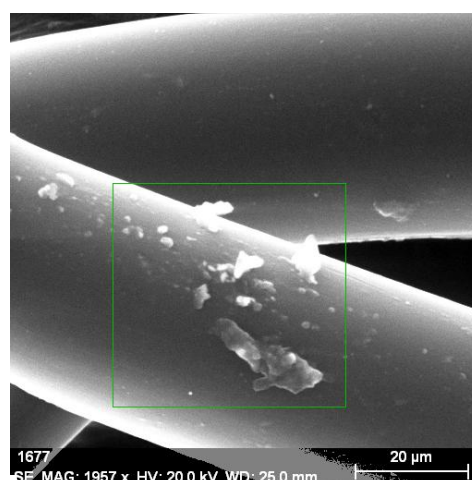
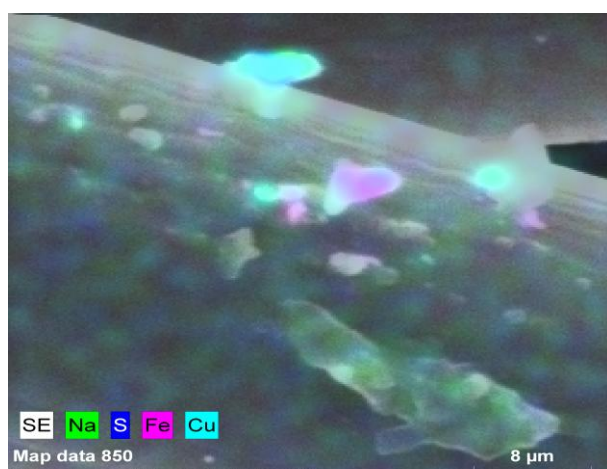
V. Fotogalerie

Porovnání textilních materiálů z celulózových vláken 1C2 a 1B1 viz bod 3.1.2

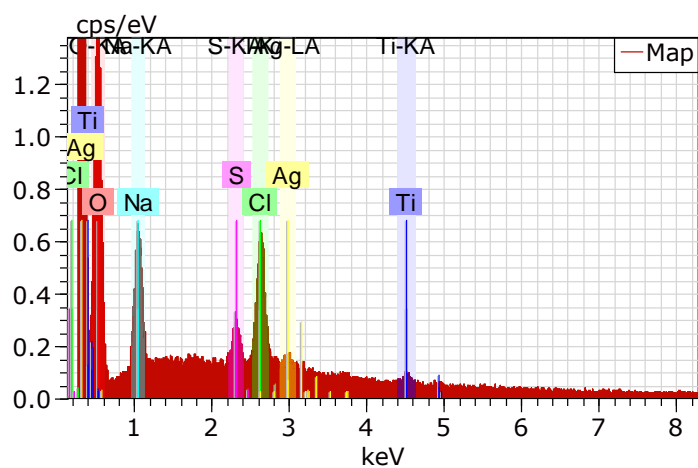
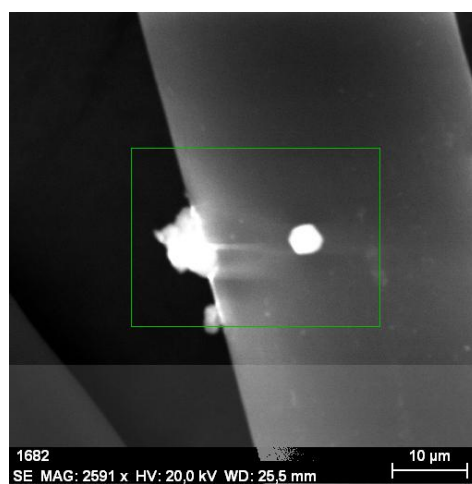
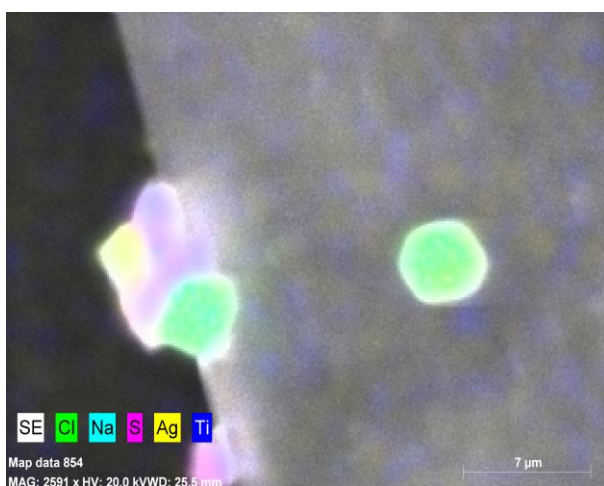


Povrchové modifikace vlákna:

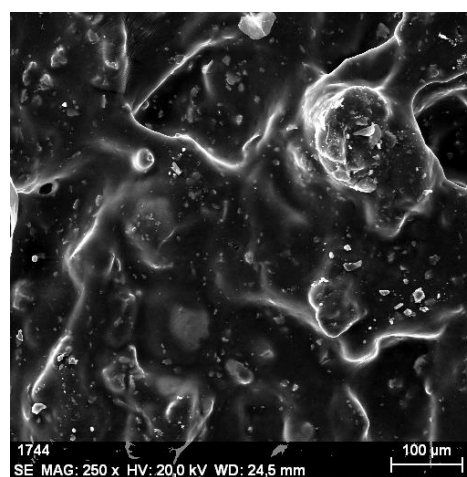
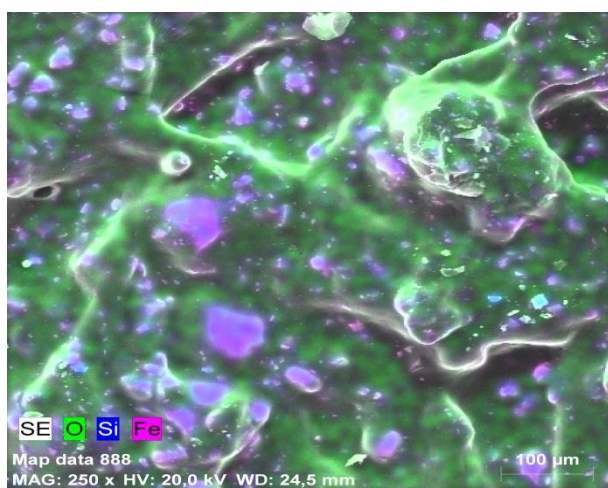
i) Impregnace mědi:

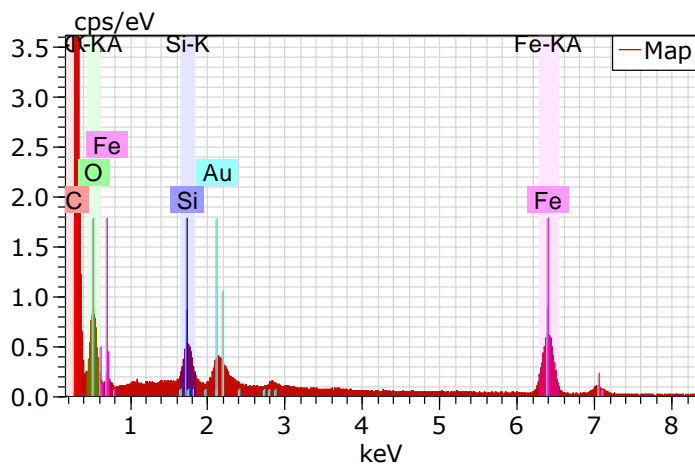


ii) Impregnace stříbrem:

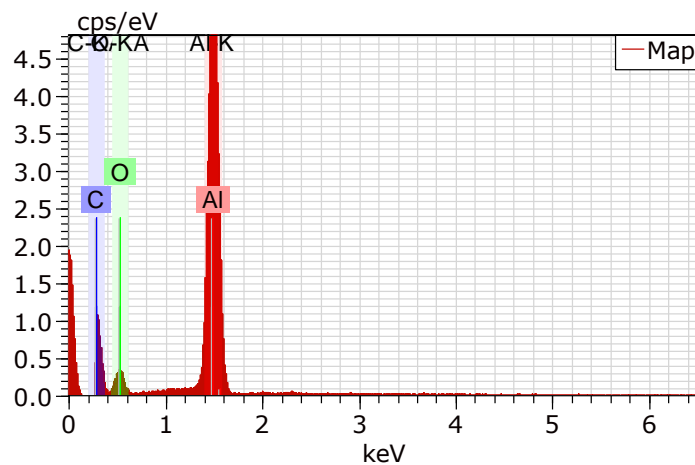
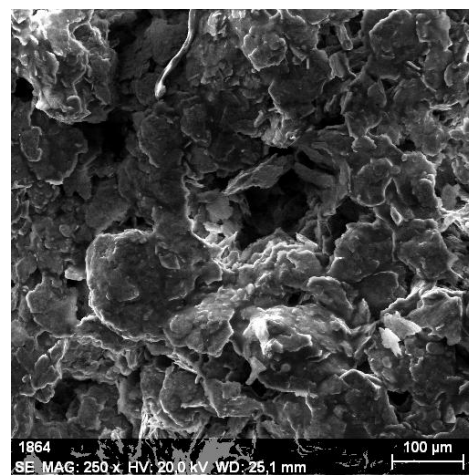
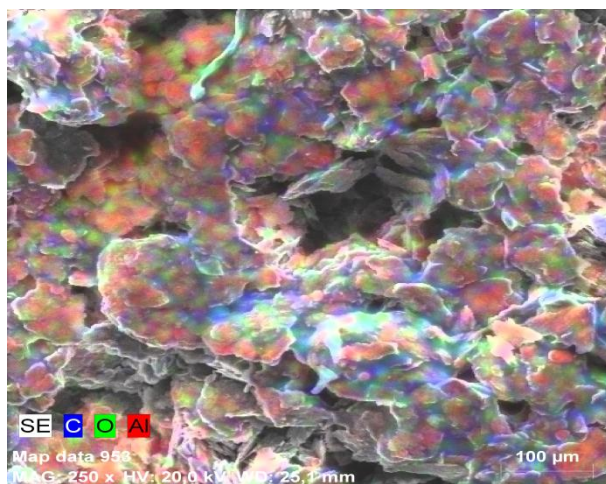


iii) Bariérové nanosy železa:





iv) Bariérové nanosy hliníku:



v) Bariérové nánosy mědi:

